



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

TESIS DE INVESTIGACIÓN:

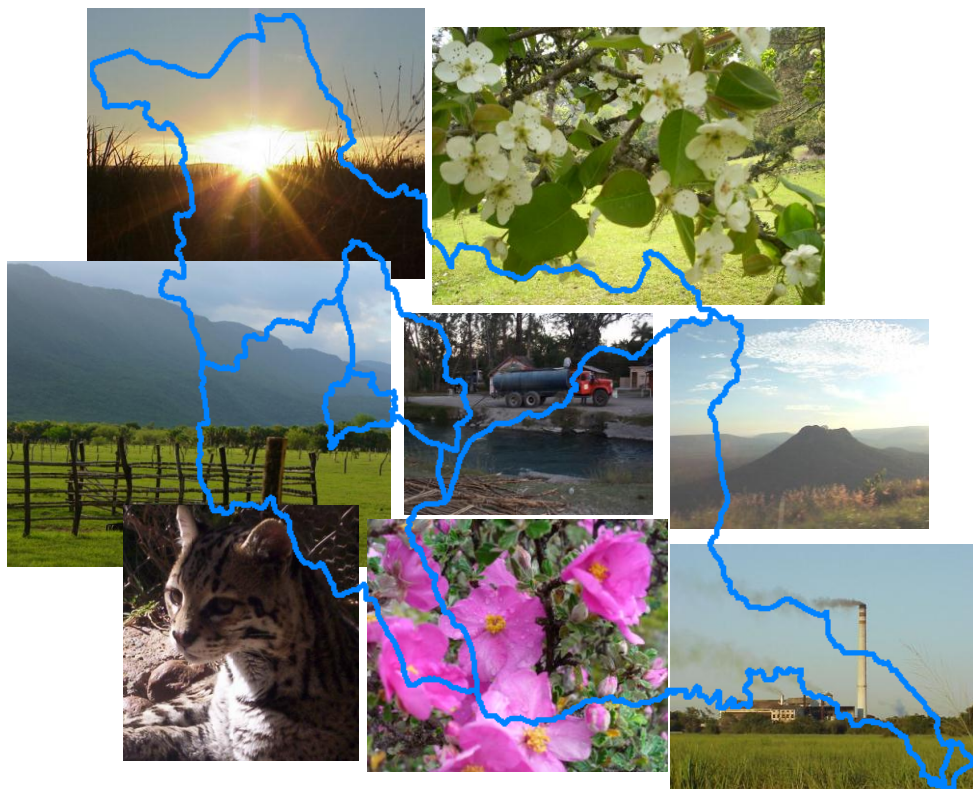
“Uso de un Sistema de Información Geoespacial para la Evaluación Socioeconómica de los Servicios Ambientales en la Cuenca Guayalejo-Tamesí (Tamaulipas, México).”

Que presenta

Glenda Nelly Requena Lara

Como requisito para obtener el título de

Doctora en Geografía Física



Director

Rafael Cámara Artigas

CoDirectores

Silvia Lucero Casas González, Jorge Brenner Guillermo

Sevilla, Año 2013



SOBRE LA GRAMÁTICA, SINTAXIS Y ORTOGRAFÍA DE ESTE TRABAJO

Aunque la mayor parte de los procesos, análisis y escritura de esta tesis se desarrollaron durante la estancia doctoral en Sevilla, para evitar confusiones, todo está escrito bajo el sistema americano, con español latinoamericano. Por lo tanto, se aclara que, además de los nombres propios del sur de Tamaulipas, las siguientes palabras y sistema numérico no deberán tomarse como errores:

Notación latinoamericana	Notación española	Observación
Biósfera	Biosfera	Se utiliza una pronunciación esdrújula, aunque en la mayoría de los textos aparece sin la tilde.
Georreferenciar (y su conjugación)		La regla dice que, la pronunciación fuerte de la “r” al ser intermedia debe escribirse “rr”.
Pixel/píxeles	Píxel/píxeles	En México se utiliza la pronunciación aguda/grave.
Video	Vídeo	En México se utiliza la pronunciación grave.
1’765,876.08€	1.765.876,08€	Notación del sistema americano, incluso para valores en euros.

PRÓLOGO

Nací y crecí en el sur de Tamaulipas. Tuve la suerte de tener unos padres “de rancho”, amantes de la naturaleza y que desde pequeña me llevaron a admirar muchos de los hermosos lugares de mi tierra. De ahí surgieron las primeras preguntas y mis primeras investigaciones “científicas”: ¿cómo se formó esta piedra? ¿por qué nace un río de la sierra? ¿por qué aquí crecen estas flores y en otros sitios no?”...

Elegí mi carrera profesional tratando de resolver mis infantiles curiosidades, para lo que fui a estudiar la Ingeniería Bioquímica en Administración de Recursos Acuáticos en el Tec de Monterrey, Nuevo León, y luego en su Campus de Guaymas, Sonora. No obstante, mi vida profesional y formación de posgrado la realicé en Tamaulipas; lógicamente tratando de resolver todas aquellas viejas incógnitas de mi mente. Cada que podía resolver alguna de ellas me iba dando cuenta de la peculiaridad y valía de los ecosistemas de mi tierra. Cada vez era más triste para mí entender que se estaban degradando y acabando muchos de ellos, porque la gente no les daba su justo valor. Pero ¿cómo valorarlos de forma que tuviera importancia para *cualquier persona*, no sólo para los entendidos en ecosistemas?

Mucho antes de realizar mi primera investigación científica (en el Máster de Biología) de la Cuenca Guayalejo-Tamesí, y estando como empleada de la Secretaría de Finanzas del Gobierno del Estado, el Lic. Eliseo Castillo me permitió ingresar a, y obtener el Diplomado en Inversión Pública Inteligente. Lo más importante que ahí aprendí fue que, al común de las personas, nos es difícil cuidar algo por lo que no hemos pagado de nuestro propio bolsillo; por ello, tendemos a descuidar e infravalorar los proyectos y servicios públicos.

Tiempo después, cuando escuché el concepto de Servicios Ambientales, supe de inmediato que dar un valor socioeconómico a estos servicios, era la respuesta que estaba buscando para que los recursos naturales de mi tierra puedan usarse y conservarse tan hermosos y saludables, como cuando se desarrolló en mí el amor por ellos.

El procedimiento de identificación, evaluación y valoración de algo tan intangible como pueden ser los Servicios Ambientales (**SSAA**) dentro de una región como el sur de Tamaulipas, es muy complejo para ser elaborado por una sola persona. Afortunadamente, es posible simplificarlo en gran parte con el uso de los Sistemas de Información Geográfica, las imágenes de satélite y otro de los grandes amores de mi vida: Internet. Sin uno solo de ellos, ninguna de mis investigaciones de posgrado habría sido posible; ni mucho menos sin la distinción como becaria del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (**CONACYT**) para realizar mi doctorado en la Universidad de Sevilla.

Aún teniendo todas las herramientas, poco podría hacer con ellas, de no haber sido por la capacitación y el material que recibí, a través de las instituciones que me han acogido y/o apoyado, ya sea como alumna o como investigadora: el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria (ITCV), la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y la Universidad de Sevilla (UniSev). Tampoco podría haber avanzado sin la existencia de otras instituciones como la NASA, a través de su programa de Rapidfire-MODIS (uno de mis gatos se llama así) para la obtención de imágenes de satélite; Nature Conservancy, World Wildlife Found (WWF) y el Woods Institute for the Enviroment de la Universidad de Stanford, por INVEST la Universidad de Lausanne Suiza, la CONAFOR; y quienes, ya sea por medio de su portal de internet y/o por petición expresa por medio de e-mail, pusieron a mi disposición *software* libre, información y datos; especialmente a: Google Docs, Google Schoolar, Google Maps, Google Earth y Facebook.

Tanto los conceptos de SSAA, su evaluación y gestión, sus análisis socioeconómicos y el uso de herramientas geoespaciales y su gestión a través de la Red para análisis de los SSAA, son aún novedosos, y con metodologías experimentales en su mayoría, por lo que pueden surgir muchas dudas de su aplicación en este trabajo. Además, aunque desde el 2005 la ONU publicó el documento de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, aún se discuten los problemas que puede representar el poner “precio” (cuando se confunde esta palabra con “valor”) a nuestros recursos naturales.

Por mi parte, creo firmemente en que la Ciencia también debe ser práctica y entendible para todos; y siendo prácticos, sólo conservamos algo cuando nos resulta más caro perderlo. Por ello, es necesario dejar bien claro, no sólo a los científicos y a los tomadores de decisiones, sino al común de la gente (que también lo somos todos), *cuánto le “dolerá a su bolsillo” degradar o perder un recurso natural*. Esto, sin duda, es más eficiente para la naturaleza, que simplemente tratar de convencer a la gente de la importancia de los ecosistemas (por sus funciones, por su belleza, por su biodiversidad, etc.)... Y siendo aún más prácticos, es posible decir que el “lenguaje del dinero” es universalmente entendido. Y todos queremos, quizá no siempre tener más, pero sí nunca *tener menos*.

DEDICATORIA

A Juan Francisco

A mis Güercos

Iordi Alexander, Alexis Isaac y Néstor Alexander Iván.

A mis papás

Nelly y Virgilio, Mami Amparo

A mis hermanos y sobrinos

Kenya Zamira, José Guadalupe, José Virgilio y Maríanelly

Iris Elizama, Miguel Ángel, Fátima Paola y Josué Miguel

Iván Paolo, Laura, Ivanna y Paola

Carmen

(si algun@ me faltó: lo siento, sobrin@, no habías nacido cuando esto)

A mis amigos (presenciales y on-line)

A mis maestros y a mis directores (presenciales y on-line)

A los que comparten conmigo su amor incondicional por la naturaleza
(presenciales y on-line)

A mis gatos, mis compus, mis cámaras, mi internet y a nuestro coche.

A la Cuenca Guayalejo-Tamesí y a mi Estado de Tamaulipas

Dios, sé que tú me dedicaste esta Tesis a mí. ¡Mil Gracias!

Todos ellos, y especialmente la Autora, agradecemos...

...al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT, por la beca otorgada para el desarrollo de los estudios e investigación doctoral.

...a la Universidad Autónoma de Tamaulipas, por la beca de apoyo, complementaria a la beca de CONACYT

...a la Dra. Silvia Casas, al Dr. Abelardo Saldívar y al Ing. José "Pepe" Suárez, por su apoyo incondicional, sus consejos y su empuje para obtener las becas y poder realizar este gran sueño.

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

Acrónimo	Significado
AD	Áreas de Drenaje
AICA	Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves
AMAIT	pixeles clasificados como agua perenne o intermitente, manglar, zonas inundables o tulares
ANP/ANPs	Áreas Naturales Protegidas
AOI	Área de interés
BOE	Boletín Oficial del Estado- España
CEP	Convenio Europeo del Paisaje
CIE	Centro Interpretativo Ecológico de El Cielo
CN	Capital Natural
CO ₂	Bióxido de carbono
COMAPA	Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua (antes CNA)
COTACYT	Consejo Tamaulipeco de Ciencia y Tecnología
DDRs	Distritos de Riego
DOF	Diario Oficial de la Federación
E/P	Enfermedades y/o Padecimientos comunes, en su forma menos grave
EEM	Evaluación de los Ecosistemas del Milenio
EEUU	Estados Unidos de América
El Cielo	Reserva de la Biósfera de El Cielo (ANP estatal)
El Cielo	Reserva de la Biósfera de El Cielo
EOS	Sistema de Observaciones Terrestres (<i>Earth Observing System</i>) de la NASA
ET	Evapotranspiración
ETP	Evapotranspiración Potencial
ETreal	Evapotranspiración real
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GAP	Análisis de omisiones (Gap Analysis)
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IEGEI	Inventario Estatal de Gases de Efecto Invernadero
IMSS	Instituto Mexicano del Seguro Social
INAH	Instituto Nacional de Antropología e Historia
INE	Instituto Nacional de Ecología (DE 1992 a 2012)
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (a partir de 2102)
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INF	Inventario Nacional Forestal
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> , Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
ISS	Índice de Severidad de Sequía
LAI	Índice de Área Foliar (<i>Leaf Area Index</i>)
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LGDFS	Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
LGVS	Ley General de Vida Silvestre
LPNB	Ley de Patrimonio Natural y Biodiversidad-España
LPNB	Ley de Patrimonio Natural y Biodiversidad
MDE	Modelo digital de elevación
MOD	Materia orgánica en descomposición
MODIS	Espectroradiómetro de imágenes de media resolución (<i>Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer</i>)
MTM	Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana
MXN	Pesos mexicanos
NBR	índice normalizado de incendio (<i>Normalized Burn Ratio</i>)
NDVI	Índice de vegetación de diferencia normalizada (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>)
OET	Ordenamiento Ecológico del Territorio
ONG	Organización no gubernamental
OMS	Organización Mundial de la Salud

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

Acrónimo	Significado
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PAWC	Proporción del Agua Almacenada Accesible para las Plantas
PEA	Población de 12 años o más económicamente activa
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PIB	producto interno bruto
PIB	Producto Interno Bruto
PMed	especies de plantas medicinales
PSA	Pago por Servicios Ambientales
Psbmdrec	pixeles clasificados como MDR a más de 650 msnm
psei	por sus siglas en inglés
PTAM	Pluviosidad total acumulada promedio mensual (mapa del)
RTP	Región Terrestre Prioritaria para CONABIO
SCEP	informe del Impacto Humano sobre el Medioambiente Global
SEMARNAP	Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (de 1994 a 2000)
SEMARNAT	Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (de 2000 a la fecha)
SIG	Sistemas de Información geográfica
SSAA	Servicios Ambientales (también en singular)
TEEB	The Economics of Ecosystems and Biodiversity
TPMd	Tratamiento por Planta Medicinal
UAT	Universidad Autónoma de Tamaulipas
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Medio Ambiente por el desarrollo
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
USD	Dólares estadounidenses
UMA	Unidades de manejo para la Conservación de la vida silvestre
UTM	Unidades Transversas de Mercator
VPN	Valor presente neto
WTP	Disponibilidad a Pagar (<i>Willing To Pay</i>), por algún bien/servicio
ZCTMA	Zona conurbada de Tampico, Cd. Madero y Altamira
ZIP	Zona de interés para protección

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Sobre la gramática, sintaxis y ortografía de este trabajo.....	i
Prólogo	ii
Dedicatoria	iv
Siglas y acrónimos.....	v
Índice General.....	vii
 Resumen	 x

CAPÍTULO I. Introducción General

I.1. Marco conceptual.....	I.1
I.1.1. El paradigma del Capital Natural, los SSAA y su valuación	I.1
I.1.2. Conceptos de SSAA.....	I.3
I.1.3. La definición de los SSAA dentro de los marcos legales internacionales	I.6
I.1.4. Clasificación de los SSAA.....	I.9
I.1.4.1. Tipologías con principio basal en funciones ecológicas	I.9
I.1.4.2. Tipologías con principio basal en funciones económicas.....	I.12
I.1.5. Evaluación de SSAA. Estado de la cuestión: ¿Por qué ecosistemas y los SSAA deben evaluarse?	I.16
I.1.6. Métodos socioeconómicos de valuación.....	I.27
I.1.6.1. Conceptos de valuación.....	I.28
I.1.6.2. Métodos para realizar las valuaciones socioeconómicas de los SSAA	I.30
I.1.7. Análisis y valuación de SSAA a través de SIG.....	I.31
I.1.8. Pago por Servicios Ambientales como herramienta de conservación	I.32
I.2. Algunos antecedentes de valoración de SSAA	I.34
I.2.1. Estudios de SSAA en la Cuenca Guayalejo-Tamesí.....	I.39
I.3. Hacia la evaluación socioeconómica de SSAA en la Cuenca.....	I.40
I.4. Objetivos	I.42

CAPÍTULO II. El Área de Estudio

II.1. El Estado de Tamaulipas.....	II.1
II.2. La Cuenca Guayalejo-Tamesí.....	II.4
II.2.1. El medio biofísico.	II.5
II.2.2. El sistema biótico y su manejo	II.13
II.2.3. El medio social y urbano	II.16
II.2.4. Las actividades económicas y el uso del suelo y del agua	II.20

CAPÍTULO III. Marco Metodológico

III.1. Etapas generales del trabajo.....	III.1
III.2. Materiales	III.2
III.2.1. Información cartográfica	III.3
III.2.2. Imágenes de satélite	III.4
III.2.3. Banco de imágenes fotográficas en campo.....	III.8
II. 3. Software y herramientas electrónicas	III.8
III. 4. Procesos y análisis	III.9
III. 4.1. Identificación de las comunidades vegetales y los usos de suelo	III.9
III.4.1.1. Clasificación supervisada de imágenes MODIS	III.9
III.4.1.2. Generación de un Índice de Verde para discriminar coberturas del suelo en épocas de humedad y de sequía.....	III.11
III.4.1.3. Elaboración del mapa de fracción nubosa.....	III.13
III.4.1.4. Elaboración del mapa de pluviosidad total acumulada promedio mensual	III.14
III.4.1.5. Elaboración del mapa de índice de área foliar.....	III.16
III.4.1.6. Obtención de las coberturas de vegetación y uso del suelo	III.17
III.4.1.7. Evaluación de confiabilidad del mapa de LULC generado	III.35

III.4.2. Distribución espacial y evaluación socioeconómica de los SSAA	III.37
III.4.3.1. Calidad del hábitat para la biodiversidad	III.37
III.4.3.2. Captura y almacén de carbono	III.46
III.4.3.3. Aporte de agua como indicador de disponibilidad para su consumo doméstico, y retención de nutrientes como indicador de su purificación	III.52
III.4.3.4. Belleza escénica (paisajística): contribución a la economía local por factibilidad para actividades turísticas y recreativas	III.65
III.4.3.5. Biodiversidad: contribución a la salud humana por disponibilidad de plantas usadas en medicina tradicional y como posible fuente de fármacos	III.67
III.5. El valor socioeconómico de la cuenca por sus SSAA.....	III.85

CAPÍTULO IV. Resultados y discusiones

IV.1. Identificación de las comunidades vegetales y los usos de suelo	IV.1
IV.1.1. Imágenes clasificadas	IV.1
IV.1.2. Índice de Verde	IV.22
IV.1.3. Comunidades vegetales y usos de suelo de en la cuenca.	IV.23
IV.1.3.1. Comunidades vegetales.....	IV.24
IV.1.3.2. Usos del suelo y otras coberturas.	IV.49
IV.2. Descripción y evaluación socioeconómica de los SSAA	IV.58
IV.2.1. LA CALIDAD DEL HÁBITAT PARA LA BIODIVERSIDAD.....	IV.58
IV.2.1.1. Descripción biofísica	IV.58
IV.2.1.2. Valuación socioeconómica	IV.68
IV.2.2. LA CAPTURA Y ALMACÉN DE CARBONO.....	IV.75
IV.2.2.1. Descripción biofísica	IV.77
IV.2.2.2. Valuación socioeconómica	IV.86
IV.2.3. EL APOORTE DE AGUA: indicador de disponibilidad para su consumo doméstico	IV.92
IV.2.3.1. Descripción biofísica	IV.93
IV.2.3.2. Valuación socioeconómica	IV.103
IV.2.4. LA RETENCIÓN DE NUTRIENTES: indicador de purificación del agua	IV.111
IV.2.4.1. Descripción biofísica	IV.113
IV.2.4.2. Valuación socioeconómica	IV.122
IV.2.5. LA BELLEZA ESCÉNICA (PAISAJÍSTICA): contribución a la economía local y regional por factibilidad para actividades turísticas y recreativas	IV.127
IV.2.5.1. Resultados de la encuesta.....	IV.128
IV.2.5.2. Descripción biofísica	IV.138
IV.2.5.3. Valuación socioeconómica	IV.142
IV.2.6. LA BIODIVERSIDAD: contribución a la salud humana por disponibilidad de plantas usadas en medicina tradicional y como posible fuente de fármacos	IV.160
IV.2.6.1. Descripción biofísica	IV.161
IV.2.6.2. Valuación socioeconómica	IV.169
IV.3. El valor socioeconómico de la Cuenca por sus SSAA	IV.183

CAPÍTULO V. Propuesta de Ordenamiento basado en el valor socioeconómico de los SSAA y algunas estrategias de conservación.

V. 1.- Zonificación Territorial (propuesta de ordenamiento) para sitios con mayor producción de SSAA.....	V.1
V.2. Mención y propuesta de algunas estrategias para la conservación	V.3
V.2.1. Instrumentación legal del Ordenamiento Ecológico de la cuenca.....	V.3
V.2.2. Manejo de los ecosistemas y ampliación de las ANP	V.3
V.2.3. Establecimiento de sistemas de monitoreo para SSAA.....	V.5
V.2.4. Acerca de los PSA ya establecidos.	V.6
V.2.5. Investigación aplicada, actualizada y específica para el Estado.	V.7
V.2.6. Sensibilización ambiental y Participación Ciudadana	V.9

CAPÍTULO VI. Conclusiones

VI.1. Conclusiones generales	VI.1
VI.2. De la metodología general	VI.2
VI.3. De la evaluación socioeconómica.....	VI.4
VI.4. De los SSAA en específico	VI.4

BIBLIOGRAFÍA

Capítulo I	1
Capítulo II	6
Capítulo III, metodología general (excepto citas bibliográficas de los modelos)	7
Capítulo IV, resultados (incluye citas bibliográficas de la metodología de cada modelo)	
IV.1 Vegetación y uso del suelo	8
IV.2 Calidad del hábitat	9
IV.3 Carbono	11
IV.3.1. ANEXO. Bibliografía utilizada en la base de datos de almacén de carbono	14
IV.4 Aporte de agua	16
IV.5 Retención de nutrientes	19
IV.6 Paisaje	20
IV.7. Plantas medicinales	21
IV.8. Modelo integrado	24
Capítulo V. Ordenamiento	25

ANEXOS.**I. Analógico**

1. Mapa Base del área de estudio
2. Mapa de distribución de las diferentes comunidades vegetales y usos del suelo

II. Digital

1. Mapa Base del área de estudio Ecuaciones booleanas
2. Información para evaluar el aporte de agua y retención de nutrientes
3. Encuesta anónima a 140 personas conocedoras de la cuenca
4. información de las plantas con uso medicinal utilizadas para el presente estudio
5. Información de enfermedades y tratamientos
6. Mapa de distribución de las diferentes comunidades vegetales y usos del suelo

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la porción tamaulipeca de la cuenca Guayalejo-Tamesí, ubicada en el noreste de México. El área de estudio ocupa cerca de 15,000 Km², que representan casi un 18% del estado de Tamaulipas. Su parte norte se localiza sobre el trópico de Cáncer, cerca de donde alcanza altitudes de hasta 3,500 msnm, sobre la Sierra Madre Oriental, mientras que la salida de la cuenca desemboca al nivel del mar, 200Km en línea recta de extremo a extremo. Debido a estas características, cuenta con una alta diversidad climática, edafológica y geomorfológica, que se refleja en una importante biodiversidad, alojada en un gradiente cálido/húmedo a seco/templado de ecosistemas. Por ello, incluye entre selvas húmedas, subhúmedas, bosques de coníferas, de latifoliadas y húmedos de montaña, matorrales semidesérticos, así como manglares y humedales.

Alberga 810,159 habitantes, de acuerdo con la información oficial más reciente (2010) y toca territorios de 20 municipios. La mayoría de la población se aglomera en la zona conurbada de Tampico, Ciudad Madero y Altamira, donde se desarrollan actividades portuarias de altura, generalmente relacionadas con la industria química y petroquímica de su zona industrial. No obstante, casi la mitad del territorio, se dedica a las actividades agropecuarias, donde destaca el cultivo en sistema de riego de la caña de azúcar y de legumbres diversas; esto da origen a los dos ingenios azucareros más norteños de esta porción del Golfo de México.

Aunque cuenta con tres espacios naturales bajo protección legal, el resto de la cuenca carece de un ordenamiento territorial que permita el uso y manejo sustentable de su gran gama de recursos naturales. Sin embargo, a pesar de la existencia de las áreas protegidas, las personas en general no respetan sus límites y siguen desarrollando actividades que ponen en peligro el equilibrio de los ecosistemas bajo protección. Se necesita con urgencia la sensibilización de los habitantes y usuarios de los recursos de la cuenca, para que conozcan el verdadero valor de su patrimonio natural y de los servicios que les presta para hacer posible su sobrevivencia en este territorio.

Ante este panorama, la presente investigación tuvo como objetivo plasmar en un mapa el valor que representan para la sociedad tamaulipeca los servicios ambientales del área de estudio; y con esa base, plantear estrategias básicas de ordenamiento territorial orientadas a su uso, manejo y conservación. El presente documento recoge las actividades que se realizaron para cumplir con este objetivo, así como los resultados y propuestas generados en el transcurso de la investigación.

El **Capítulo I** se divide en cuatro partes: un marco conceptual, antecedentes de valoración de SSAA, su justificación en la cuenca y los objetivos del trabajo. Los conceptos que se revisan parten del contexto de los SSAA en el Capital Natural del planeta, y la conceptualización de los mismos a través de la historia reciente de la humanidad. Posteriormente se presenta una revisión del concepto en algunos marcos legales de México y otros países destacados por su aportación al reconocimiento de los SSAA; así como las diferentes clasificaciones de los SSAA a través de los puntos de vista de las funciones ecológicas y económicas del ecosistema.

Posteriormente, se revisa la filosofía que conlleva al estado de la cuestión referente al porqué debe ponerse un valor monetario a un recurso que no tiene precio. Se incluyen además, conceptos y métodos para realizar valuaciones socioeconómicas de este tipo, así como ejemplos de valoración en varias partes del mundo, y la justificación de aplicar esta metodología en la cuenca. El capítulo concluye con el planteamiento de los objetivos general y específicos del trabajo.

En el **Capítulo II** se realiza una breve descripción del área de estudio, con el objeto de situar al lector en el contexto social, político y económico de esta región del planeta. Se presentan datos generales del Estado de Tamaulipas, así como la descripción del medio biofísico del área de estudio, el sistema biótico y el manejo que se tiene a través de sus espacios naturales importantes para la protección de la biodiversidad y del patrimonio cultural.

La descripción de los materiales y métodos desarrollados y utilizados en la presente investigación se presentan en el **Capítulo III**. Se plantea la logística de los trabajos, y se describen los materiales utilizados y las fuentes de los mismos, como son la información cartográfica, bases de datos, imágenes de satélite, etc. Posteriormente, se describen los análisis y procesos aplicados en dos grandes secciones: la identificación de las comunidades vegetales y el uso del suelo (LULC), así como la distribución espacial y la evaluación socioeconómica de los SSAA.

En la primera sección se describe el seguimiento aplicado a la clasificación supervisada de imágenes de satélite, el desarrollo de mapas e índices para utilizar como factores ecogeográficos en la clasificación experta, la obtención del mapa LULC a través de ésta, y finalmente, la evaluación de confiabilidad de dicho mapa. En la segunda, se presenta la metodología para desarrollar los modelos biofísicos de los SSAA y los supuestos para adjudicarles un valor monetario a partir de su valuación socioeconómica.

Los resultados de este trabajo, y su discusión, se argumentan en el **Capítulo IV**. Este apartado se divide en tres secciones principales: la identificación y descripción de los LULC; la descripción biofísica y la evaluación

socioeconómica de los modelos de los SSAA; y la argumentación del valor socioeconómico mínimo de la cuenca debido a los SSAA que aporta a la sociedad.

Respecto a la primera sección, en primera instancia, se detallan y discuten cada una de las 16 imágenes del sensor MODIS clasificadas, y el Índice de Verde que las categoriza en temporada seca y temporada húmeda, como un apoyo para las decisiones *booleanas* de la clasificación experta. Enseguida, se describen y discuten cada una de las 30 clases de LULC encontradas, tanto de la vegetación como del uso del suelo.

La sección segunda presenta cada uno de los modelos de SSAA, con su base biofísica y sus argumentos de valuación socioeconómica, establecidos en euros con base en el año 2011. El primer modelo representa la calidad del hábitat para la biodiversidad, donde se encontró que poco más del 60% del territorio presenta una degradación muy poco significativa, lo que le da un valor de 50.67 M€ anuales.

El segundo modelo expone la captura y almacén de carbono por los ecosistemas de la cuenca. Con este mapa, se obtuvo que en 2011 los ecosistemas almacenan 186.72 millones de toneladas de carbono, lo que le da un valor mínimo *fijo* de 2,020.75 M€; y anualmente capturan 3.1 millones de toneladas de carbono, con un valor de 74,073.6 € anuales.

El tercer modelo reveló que el aporte de agua por parte de los ecosistemas alcanza 5,770.93 Mm³ al año, lo que significa un valor mínimo de 181 M€ anuales por su disponibilidad sólo para el consumo doméstico. El modelo biofísico de éste último, es la base para derivar el de purificación de agua por retención de nutrientes; de éste, se estimó una retención anual de 15mil toneladas de nitrógeno y 6.5mil de fósforo, con un valor anual conjunto de 35.2 M€ anuales.

La belleza paisajística como un insumo para las actividades ecoturísticas fue evaluada a través de las preferencias manifestadas por conocedores del área de estudio, encontrándose que sólo el 4.5% del territorio presenta condiciones óptimas para el desarrollo de la actividad. Esto representa un valor hedónico del terreno de 2,934.36 M€, con un promedio de casi dos mil euros promedio por la calidad paisajística de una hectárea (además de su valor comercial); en conjunto con los valores anuales por los empleos potenciales en ecoturismo y la disposición de la gente a pagar por un sitio bien conservado para esa actividad, los ecosistemas suman un valor de 3,270 M€ para el año de valuación.

Finalmente, se modeló la contribución de la biodiversidad a la salud humana por disponibilidad de plantas medicinales y como posible fuente de fármacos. Partiendo de un inventario etnobotánico, se enlistaron 334 especies que dan origen a 1,936 tratamientos de que la población en la cuenca dispone para hacer frente a 17 enfermedades y padecimientos comunes (en su forma menos grave). Si el 20% de la población los utiliza, la sociedad ahorra como mínimo 12 M€ anuales. Sumando esto al valor de cuasi-opción de los medicamentos exitosos que puedan encontrarse en los ecosistemas, se obtiene que su aportación anual a la sociedad es de casi 17.5 M€.

En la tercera sección se conjunta la valoración de los modelos, lo que arroja un monto mínimo de 6,415.86 millones de euros en el año 2011, donde el 78.3% los dos SSAA de características “fijas”: el valor del carbono almacenado en los ecosistemas persistentes y el valor hedónico del terreno. Este valor es entre cinco y once veces mayor que la proporción correspondiente (y actualizada) al monto estimado por [Costanza et al. \(1997\)](#) del valor de la biósfera. Por ello, se consideró que el modelo integrado generado en esta investigación representa entre una quinta y una décima parte del total de los SSAA prestados por la cuenca.

El **Capítulo V** presenta una propuesta de Ordenamiento y algunas estrategias de conservación. Para ello, en primera instancia plantea una zonificación territorial para ordenación de los sitios con mayor producción de SSAA. Enseguida menciona algunas estrategias sugeridas por diferentes instancias, al tiempo que aporta otras cuya necesidad surgió durante el desarrollo de la presente investigación.

Finalmente, el **Capítulo IV** recoge las conclusiones generales y específicas para cada uno de los elementos de investigación documentados en este trabajo.

El documento contiene además un apartado con la bibliografía y fuentes consultadas, disgregada por capítulo y por modelo generado. Así como dos anexos analógicos (mapa base y mapa del LULC impresos) y otros digitales, que contienen dichos mapas, así como algún material de trabajo en forma de bases de datos.

BIBLIOGRAFÍA



*“La educación no nos da la felicidad;
no somos felices sólo por ser libres, sí es que lo somos,
o por tener educación, sí es que fuimos educados;
sino porque la educación puede ser el medio
para darnos cuenta de que somos felices.
Nos abre los ojos, los oídos, nos enseña dónde están ocultos los detalles;
nos convence de que sólo hay una libertad que importa:
la de la mente.
Nos brinda confianza para recorrer el camino
que nos ofrece nuestra mente educada”
(Iris Murdoch, 1919-1999)*

BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO I

- Aburto, E. 2003. Valoración económica del servicio ambiental hidráulico de la micro-cuenca "Paso Los caballos" del Municipio de San Pedro de Potrero Grande, Departamento de Chinandega. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Inter Cooperación, Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América central. EDISA. Managua, Nicaragua. 91 pp. Documento en Internet del Foro de PSA de la FAO. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/foro/psa/>.
- Adame Garza, J.A. y P. Estrada Bellman. 2003. Efecto de una doble concentración de bióxido de carbono en la atmósfera sobre la disponibilidad de agua en la cuenca del río Guayalejo-Tamesí en el estado de Tamaulipas, México. *Revista de Climatología*. V3(2003):27-44.
- Acharya, G. 1998. Capturing the hidden values of wetland ecosystems as a mechanism for financing the wise use of wetlands. workshop on Mechanisms for Financing Wise Use of Wetlands. Dakar, Senegal. 13 November 1998. Disponible en: http://iwlearn.net/abt_iwlearn/events/workshops/ouagadougou/readingfiles/yale-wetlands-values.pdf
- Alexander, A. M; J. A. List; A.M. Margolis y R. C. d'Arge. 1998. A method for valuing global ecosystem services. *Ecological Economics*. 27 (1998): 161-170
- BANOBRA, Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C. 2006. Guía Metodológica General de Preparación y Presentación de Estudios de Proyectos de Inversión Pública. Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos. 44 pp
- Baral, H.; S. Kasel; R. Keenan; J. Fox y N. Stork. 2009. GIS-based classification, mapping and valuation of ecosystem services in production landscapes: A case study of the Green Triangle region of south-eastern Australia. In: *Forestry: a climate of change*, Thistlethwaite, R., Lamb, D., and Haines, R. (eds). pp. 64 -71. Proc. IFA Conf. Caloundra, Queensland, Australia, 6-10 September 2009
- Barzev, R. 2003. Valoración económica integral de los bienes y servicios ambientales de la Reserva del Hombre y la Biosfera de Río Plátano. Proyecto manejo reserva del hombre y la biosfera de Río Plátano. Corredor Biológico Mesoamericano. Documento en Internet del Foro de PSA de la FAO. Disponible en <http://www.rlc.fao.org/foro/psa/>
- Benítez Díaz, H.; E. Vega López; A. Peña Jiménez y S. Ávila Foucat (Editores). 1998. Aspectos Económicos Sobre la Biodiversidad de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México. 204 pp.
- B.O.E., *Boletín Oficial del Estado*. 2008. *Instrumento de ratificación del Convenio Europeo del Paisaje (número 176 del Consejo de Europa)*, hecho en Florencia el 20 de octubre de 2000. BOE núm. 31, de 5 de febrero de 2008, páginas 6259 a 6263. BOE-A-2008-1899. España.
- Boyd, J. and Banzhaf, S. (2007): What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics* 63(2-3): 616-626
- Brenner, J. 2007. Valuation of ecosystem services in the Catalan coastal zone. Doctoral Dissertation. Laboratori d'Enginyeria Marítima, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 178 pp.
- Camacho, M. A. (Coord); O. Segura; V. Reyes; A. Aguilar. 2000. Pago por Servicios Ambientales en Costa Rica. Informe preparado para en el marco del proyecto PRISMA-Fundación Ford "Pago por Servicios Ambientales en América Latina". Costa Rica, Octubre de 2000
- Cantú, J. C.; H. Gómez de Silva y M. E. Sánchez. 2011. El Dinero Vuela: El Valor Económico del Ecoturismo de Observación de Aves. *Defenders of Wildlife*. Washington. 56 pp.
- Cervantes; V. M.; Crisóstomo V. L.; Alvarado G. V; Vázquez V. D; Jiménez H. S.; Agúndez B. C.I.; Vargas T. V. y Vargas E. F. 2005. Vegetación de la cuenca del río Guayalejo-Tamesí (Tamaulipas, México). *Memorias del X Congreso Nacional y IV Internacional de Ciencias Básicas*. *Revista Internacional de Ciencias Ambientales* Vol. 21 Suplemento 1. Pág. 194. Disponible en http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/congresos/QUINTANA%20ROO%202005/CARTEL%20CORTOS.pdf
- CETam, H. Congreso del Estado de Tamaulipas. 2008. Decreto LX-18, mediante el cual se expide el Código para el Desarrollo Sustentable del Estado de Tamaulipas. LX Legislatura. Última modificación aplicada del 14 de agosto de 2008. Disponible en <http://www.congresotamaulipas.gob.mx/Parlamentario/Archivos/Codigos/4.%20codigo%20desarrollo%20sustentable.pdf>
- Cincotta RP; Wisniewski J; Engelman R. 2000. Human population in the biodiversity hotspots. *NATURE*. 2000 Apr 27;404:990-2
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2008. Bases de datos de Regionalización. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/regionalizacion.html>
- Corbera, E. y C. González Soberanis. 2007. Pago por servicios ambientales en México: situación actual y objetivos de futuro. Memoria del taller. Instituto Nacional de Ecología, Comisión Nacional Forestal, Tyndall Centre for Climate Change Research. México D.F. 18 y 19 de julio 2007

- Costanza, R., 1998. The value of ecosystem services. *Ecological Economics* 25 (1), 139.
- Costanza, R., 2000. Social goals and the valuation of ecosystem services. *Ecosystems* 3, 4–10.
- Costanza, R. y H. E. Daly. 1992. Natural Capital and Sustainable Development. *Conservation Biology*, Vol. 6, No. 1. (Mar., 1992), pp. 37-46
- Costanza, R. y S. Farber. 2002. Introduction to the special issue on the dynamics and value of ecosystem services: integrating economic and ecological perspectives. *Ecological Economics* 41 (2002) 367–373.
- Daily, G. C. (Ed.). 1997. *Nature's services. Social dependence on natural ecosystems*. Island Press. Washington, D.C., Covelo, Ca. 392 pp.
- Daniel, T.C.; T.C.Brown; D.A. King; M.T. Richards y W.P. Stewart. 1989. Perceived Scenic Bauty and contingent valuation of forest campgrounds. *Forest Science*, Vol 35 (1):76-90. Society of American Foresters.
- De la Fuente, G.; J.A. Atauri y J.V. de Lucio. 2004. El aprecio por el paisaje y su utilidad en la conservación de los paisajes de Chile Central. *Ecosistemas* 2004/2. (<http://www.aeet.org/ecosistemas/042/investigacion2.htm>)
- De Groot, R.S.; J. van der Perk; A. Chiesura y S.Marguliew. 2000. Ecological functions and socio-economic values of critical natural capital as a measure for ecological integrity and environmental health. *EN: Crabbe, P., Holland, A., Ryszkowski, L., Westra, L. (Eds.), Implementing Ecological Integrity: Restoring Regional and Global Environmental and Human Health. NATO-Science Series, IV. Earth and Environmental Sciences*, vol. 1. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, pp. 191–214.
- De Groot ; M. A. Wilson y R.M.J. Boumans. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41 (2002): 393–408
- EEM, Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. 2005. Informe de Síntesis (Borrador final). Un Informe de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Washington, D.C.: World Resources Institute, PNUMA. Documento en Internet. 43 pp.
- Elorrieta, J.I. y E. Castellano. 1999. Valoración integral de la conservación de la biodiversidad de la comunidad foral de Navarra. Ponencia presentada en el Tercer Congreso de Economía de Navarra. Pamplona, 27 y 28 de octubre de 1999. 12 pp. Documento en Internet del Foro de PSA de la FAO. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/foro/psa/>
- Emerton, L. y Bos, E. 2004. Value. Counting Ecosystems as an Economic Part of Water Infrastructure. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 88 pp.
- EuC, European Communities. 2008. The Economics of Ecosystem and Biodiversity. An intern report. Welzeld+Hardt. Wesseling, Germany. 64 pp.
- FAO, ONU'S Food and Agriculture Organization. 2007. The State of Food and Agriculture 2007. Part I: Paying farmers for environmental services. Rome, adapted from Ecosystems and Human well-being: a framework for assessment by the Millenium Ecosystem Assessment. Copyright © 2003 World Resources Institute. Reproduced by permission of Island Press, Washington, DC. Citado por La Dirección de economía del desarrollo agrícola de la FAO, en su página de Pagos por Servicios Ambientales de Paisajes Agrícolas. Disponible en: http://www.fao.org/es/esa/pesal/aboutPES1_es.html
- Farber, S.; R. Costanza; y M. Wilson. 2002. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem Services. *Ecological Economics* 41 (2002) 375–392.
- Fisher, B.; K.R. Turner; y P. Morling. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecol. Econ.* Vol. 68 (3): 643–653.
- Flores Velásquez, P.; P. Martínez de Anguita; R. Romero Calcerrada; C. J. Novillo y M. A. Ruiz. 2008. Los sistemas de pago por servicios ambientales entre la adicionalidad y la subsidiariedad: aplicación a la belleza escénica en el pantano de San Juan, Madrid, España. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 2008 17(1), 39-53.
- García Romero, A.; K.I. Mendoza Robles; y L. Galicia Sarmiento. 2005. Valoración del paisaje en la selva baja caducifolia en la cuenca baja del río Papagayo (Guerrero), México. *Investigaciones Geográficas*, No. 056: 77-100. UNAM. México.
- GIOT, Grupo Interdisciplinario para el Ordenamiento Territorial. 2000. Programa de Ordenamiento Territorial. Guía Metodológica para el Programa Estatal de Ordenamiento Territorial. SEDESOL-SEMARNAP-CONAPO-INEGI. México. 175 pp.
- Grêt-Regamey, A.; I.D. Bishop y P. Bebi. 2007. Predicting the scenic beauty value of mapped landscape changes in a mountainous region through the use of GIS. *Environment and Planning B: Planning and Design* 2007, (34):50-67.
- Haines-Young, R.H. y Potschin, M.B. 2009. Methodologies for defining and assessing ecosystem services. Final Report, JNCC, Project Code C08-0170-0062, 69 pp.
- Haines-Young, R. y M. Potschin. 2010. Proposal for a Common International Classification of Ecosystem Goods and Services (CICES) for Integrated Environmental and Economic Accounting (V1). Background document preparado por el Centre for Environmental Management de la University of Nottingham

- para la European Environment Agency. Fifth Meeting of the UN Committee of Experts on Environmental-Economic Accounting, ONU. NY, junio 2010. 23 pp.
- Harold, H.A. y P.R. Ehrlich . 1997. Ecosystem services: a fragmentary history. CAPÍTULO I, EN: Daily, G. C. (Ed.). 1997. Nature's services. Social dependence on natural ecosystems. Island Press. Washington, D.C., Covelo, Ca. 392 pp
- Hawkings, K. 2003. Economic valuation of ecosystem services. Documento en internet de la Universidad de Minnesota. 42 pp.
- Hernández, R.; C. Cobos; A. Ortiz; y J. C. Méndez. 2002. Valoración Económica del Servicio Ambiental de Regulación Hídrica del Lado Sur de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas, Guatemala. 13 pp. Programa de Fortalecimiento Institucional en Políticas Ambientales. Documento en Internet del Foro de PSA de la FAO. Disponible en http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACX128.pdf
- INE, Instituto Nacional de Ecología. 2001. Seminario de Valoración Económica del Medio Ambiente. Dirección de Economía ambiental del INE. 40 pp. Disponible en <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/340.pdf>
- IUCIN (International Union for Conservation of Nature), The World Conservation Union, The Nature Conservancy y The World Bank. 2004. How much is an ecosystem worth? Assessing the economic value of conservation. The International Bank for Reconstruction and Development/THE WORLD BANK. Washington, D.C. 33 pp.
- Jiménez-Hernández, S.; D. Vázquez-Velázquez; A. Fierro Cabo; V. Vargas Tristán; V. Alvarado Gutiérrez y A. Jiménez Córdoba. 2007. Ordenamiento Ecológico Regional de la Cuenca del Río Guayalejo-Tamesí. EN Boville Luca de Tena, B. y D. Sánchez González (Eds.). 2007. Planificación territorial y desarrollo sostenible en México. Perspectiva comparada. Universitat de Barcelona. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Madrid. 463 pp.
- Junta de Andalucía, Consejo del Medio Ambiente. 2003. Turismo rural y medio ambiente. Propuesta para una metodología de análisis. Unión Europea, Consejo del Medio Ambiente, Asociación Terra. 475 pp.
- King, D. M. y M. J. Mazzotta. 2000. Ecosystem Valuation. US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service y National Oceanographic and Atmospheric Administration. Disponible en: http://www.ecosystemvaluation.org/big_picture.htm
- Kramer, R.A. 2005. Economic Tools for Valuing Freshwater and Estuarine Ecosystem Services. Preparado para la Nicholas School of the Environment and Earth Sciences de la Duke University. Documento en Internet. 13 pp.
- Lambert, A. 2003. Economic Valuation of Wetlands: an Important Component of Wetland Management Strategies at the River Basin Scale. Economic valuation of wetlands on the river basin scale -- a discussion paper, *The Ramsar Convention on Wetlands*. May 2003.
- LFor- CR, Ley Forestal de Costa Rica. 1996. Ley Forestal, N° 7575 de 13/02/1996. (Actualizado PGR 25/02/2004). Datos de la Publicación: N° Gaceta: 72 del: 16/04/1996 Alcance: 21. Disponible en: <http://www.dse.go.cr/es/02ServiciosInfo/Legislacion/PDF/Ambiente/Forestal/L-7575%20Foresta.pdf>
- Mathis, M.; D. Matisoff y T. Pritchett. 2004. The Economic Value of Water for Ecosystem Preservation: Ecotourism in the Texas Lower Rio Grande Valley. Final Report to the Texas Coastal Management Program GLO contract no. 03-020. Hosuton Advanced Research Center, NOAA, Houston Endowment. 130 pp.
- McCauley, D. 2006. Selling out on nature. Commentary. *Nature*. (443): 27-28. Septiembre 2006
- Medellín, S. (2005). "Avances y logros en Ecoturismo en la Reserva de la Biosfera El Cielo Tamaulipas", IV Foro Campesino sobre la Conservación y el Desarrollo Sostenible Tamaulipas México. EN Guerrero Rodríguez, R. 2010. Ecoturismo Mexicano: la promesa, la realidad y el futuro. Un análisis situacional mediante estudios de caso. Revista El Periplo Sustentable. 18:36-67. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Monita Cárdenas, J.J. 2010. Propuesta de los elementos del proceso de comunicación relativo al ecoturismo como estrategia de desarrollo regional para la Zona Semiarida de Tamaulipas: un estudio basado en la efectividad de la comunicación relativa al ecoturismo de Canadá y Costa Rica. Tesis de maestría en dirección empresarial con énfasis en Finanzas. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Octubre de 2010. 190 pp.
- Montoya, G.; Soto, L; De Jong, B; Nelson, K; Farias, P.; Yakactic, P.; Taylor, J. H.; y Tippe, R. 1998. Desarrollo forestal sustentable: Captura de carbono en las zonas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas. Cuadernos de Trabajo 4 del Instituto Nacional de Ecología. 50 pp. México.
- NE, Natural England. 2009. No charge? Valuing the natural environment. Natural England. 30 pp.
- NRCNA, National Research Council of the National Academies. 2004. Valuing Ecosystem Services. Toward Better Environmental Decision-Making. Copia para re-publicación. National Academic Press. Washington, D.C. 239 pp.

- NE y DEFRA, Department of Environment, Food and Rural Affairs .2010. Preparing a detailed project plan for Character and Quality for England's Landscapes. Final Report. 6 documentos de trabajo.
- Nogué, J. y P. Sala. 2006. Prototipus de catàleg de paisatge. Bases conceptuals, metodològiques i procedimentals per elaborar els catàlegs de paisatge de Catalunya. Document de referència per als grups de treball (edició revisada). l'Observatori del Paisatge. Barcelona. 97 pp.
- Ojea, E.; J. Martín-Ortega; y A. Chiabai. 2010. Classifying Ecosystem Services for Economic Valuation: the case of forest water services. Program on Biodiversity Conservation of the BBVA Foundation Documento en Internet de la BIOECON Conference. Septiembre 2010.
- Ozdemirolu, E.; R. Tinch; H. Johns; A. Provins; J.C. Powell y C. Twigger-Ross. 2006. Valuing Our Natural Environment. Final Report. NR0103. Por el Department for Environment, Food and Rural Affairs. EFTEC- Environmental Futures Limited. Para el Department for Environment, Food and Rural Affairs. Marzo de 2006. Londres. 58 pp.
- Pagiola, S.; K. von Ritter y J. Bishop. 2004. Assessing the Economic Value of Ecosystem Conservation. Environment Department Paper No.101. The World Bank Environment Department, In collaboration with The Nature Conservancy and IUCN – The World Conservation Union. Environmental Economics Series. 58 pp. Disponible en: <http://cmsdata.iucn.org/downloads/pagiolaritterbishoplong.pdf>
- Requena-Lara, G. N. 2007. Diagnóstico Ecológico de la Cuenca Guayalejo-Tamesí con Base en Sistemas de Información Geoespacial. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Ciudad Victoria, Tamaulipas. México. 267 pp.
- Requena-Lara, G. N. 2008. Propuesta de Ordenación de los Recursos Naturales en la Cuenca Guayalejo-Tamesí (Tamaulipas, México). Tesina/trabajo de Fin de Máster. Universidad de Sevilla, España. 94 pp.
- Robertson, N. y Wunder, S. 2005. Fresh tracks in the forest: Assessing incipient payments for environmental services initiatives in Bolivia. CIFOR, Bogor, Indonesia. 137pp.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2001. Ley de Desarrollo Rural Sustentable. Diario Oficial de la Federación del martes 25 de febrero de 2003. Primera Sección. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=756874&fecha=07/12/2001
- Sanjurjo Rivera, E. y Y. Carrillo Guerrero. 2006. Beneficios económicos de los flujos de agua en el delta del Río Colorado: consideraciones y recomendaciones iniciales. Gaceta Ecológica. Número 80. (51-60). INE-SEMARNAT. México.
- Saraiva, M.G.A.N. 1999. O rio como paisagem: Gestão de corredores fluviais no quadro do ordenamento do território. Fundação Calouste Gulbenkian, Fundação para Ciência e Tecnologia. Textos Universitários de Ciências Sociais e Humanas. 519 pp. Portugal.
- SARH, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1994. Ley de Aguas Nacionales. Diario Oficial de la Federación del martes 1 de diciembre de 1992. Única Sección. Disponible en: <http://www.dof.gob.mx/index.php?year=1992&month=12&day=01>
- Sánchez Crispín, A. y E. Propin Frejomil. 2005. Potencial regional del turismo en la zona metropolitana de Tampico, México. Cuadernos Geográficos, 37 (2005-2): 153-182.
- Swanwick, C. 2002. Landscape character assessment. Guidance for England and Scotland. Documento Para The Countryside Agency y Scottish Natural Heritage por el Department of Landscape- University of Sheffield y Land Use Consultants. 84 pp + Abstract + Topic papers.
- SecGen-Tam, Secretaría General del Gobierno del Estado de Tamaulipas. 2008. Decreto N° L X - 1 8 mediante el cual se expide el Código para el Desarrollo Sustentable del Estado de Tamaulipas. Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas.. TOMO CXXXIII. Número 69: 3-103. Cd. Victoria, Tam., jueves 5 de junio de 2008.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2003. Decreto por el que se expide la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y se reforman y adicionan la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y la Ley de Premios, Estímulos y Recompensas Civiles. Diario Oficial de la Federación del martes 25 de febrero de 2003. Primera Sección. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=705172&fecha=25/02/2003
- SEMARNAT. 2008. Decreto por el que se reforma y adiciona diversas disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, para fortalecer la certificación voluntaria de predios. Diario Oficial de la Federación. Primera Sección. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5034451&fecha=16/05/2008
- SEMARNAT. 2011. Decreto por el que se reforma el artículo 40 de la Ley General de Vida Silvestre. Diario Oficial de la Federación del martes 7 de junio de 2011. Primera Sección. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5193672&fecha=07/06/2011
- SEMARNAT y HN, Hombre y Naturaleza, A.C. (Eds) . 2004. Introducción a los servicios ambientales. Primera reimpresión. SEMARNAT. México. 71 pp.

- SHCP, Secretaría de Hacienda y Crédito Público. 2012. Lineamientos que establecen las disposiciones para determinar la rentabilidad social, así como la conveniencia de llevar a cabo un proyecto mediante un esquema de asociación público-privada. Diario Oficial de la Federación del Jueves 22 de Noviembre de 2012. Disponible en http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5278655&fecha=22/11/2012
- Sherman, M. 2010. Ecosystem Services: paradigm, prism, pabulum or placebo?. Conferencia abierta del taller de AlterNet "Governance of ecosystem services: What kind of research is needed to support fair decisions?". 7 - 8 December 2010. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/46250209/Ecosystem-Services-Paradigm-Prism-Pabulum-Placebo>.
- Stenger, A.; P. Harou y S. Navrud. 2009. Valuing environmental goods and services derived from the forests. *Journal of Forest Economics*. Science Direct-Elsevier. No. 15 (1-14).
- Tallis, H.T.; T. Ricketts; E. Nelson; D. Ennaanay; S. Wolny; N. Olwero; K. Vigerstol; D. Pennington; G. Mendoza; J. Aukema; J. Foster; J. Forrest; D. Cameron; E. Lonsdorf y C. Kennedy. 2010. INVEST 1.005 beta User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford. 162 pp.
- Tallis, H.T.; T. Ricketts; A.D. Guerry; E. Nelson; D. Ennaanay; S. Wolny; N. Olwero; K. Vigerstol; D. Pennington; G. Mendoza; J. Aukema; J. Foster; J. Forrest; D. Cameron; E. Lonsdorf ; C. Kennedy; G. Verutes; C. K. Kin; G. Guannel; M. Papenfus; J. Toft; M. Marisk; J. Bernhardt.; S. Wood y R. Sharp. 2011. INVEST 2.1 beta User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford. 260 pp.
- Terborgh, J. *Requiem for Nature* (Island Press, Washington DC, 1999). Citado por McCauley, D. 2006. Selling out on nature. *Commentary. Nature*. (443): 27-28. Septiembre 2006.
- Torres Rojo, J.M. y A. Guevara, 2002. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta ecológica* 63: 40-59. Abril-junio. Instituto Nacional de Ecología. México.
- UAT, Universidad Autónoma de Tamaulipas. 2001. Diagnóstico Ecológico del Estado de Tamaulipas. Documento inédito. Ciudad Victoria. México.
- UAT-ITESM-UANL-UAAAN, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey y Pronatura Noreste A.C. 2005. Ordenamiento Ecológico de la Región Cuenca de Burgos. 1ª Fase: Caracterización de todos los Componentes y Diagnóstico del Componente Biofísico. Documento en Preparación para INE-SEMARNAT.
- UNECE, United Nations Economic Commission for Europe. 2005. Protecting water-related ecosystems for sustainable development. Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes. Disponible en: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/ecosystem/Brochure_final.pdf
- UNEP, United Nations Environment Programme. 2009. Climate change and Ecosystem management: the 'Win-Win-Win' link between mitigation, adaptation and sustainability. Scoping Paper for Copenhagen negotiations, December 2009. Draft. Disponible en: <http://www.macauley.ac.uk/copenhagen/documents/Scoping-paper.pdf>
- Ventura Quezada, O. 2003. Valoración económica de los bienes y servicios ambientales de las praderas Alto Andinas en El Perú - políticas para el manejo sostenible. III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas 9 al 13 de junio del 2003, Arequipa - Perú. Documento en Internet del Foro de PSA de la FAO. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/foro/psa/>.
- Vera Vázquez, R. 2004. La cuenca del río Guayalejo-Tamesí, situación actual políticas públicas y perspectivas. El Colegio de Tamaulipas, A.C. 186 pp.
- Vorhies, F. 1997. Environmental economics explained. Part 1: how economic valuation can help pay for conservation. *Plant Talk*. p28-29. Disponible en: http://iwelearn.net/abt_iwelearn/events/workshops/ouagadougou/readingfiles/iucn-valuation-conservation.pdf
- Walker, S. (1995). Ecotourism Impact Awareness in "El Cielo Biosphere Reserve, Tamaulipas, Mexico". Texas State University, US, pp. 1-21. EN Guerrero Rodríguez, R. 2010. Ecoturismo Mexicano: la promesa, la realidad y el futuro. Un análisis situacional mediante estudios de caso. *Revista El Periplo Sustentable*. 18:36-67. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Wallace, K.J. 2007. Classification of ecosystem services: Problems and solutions. *Biological Conservation* 2007:139 (235-246). Elsevier, Science Direct.
- Zoido Naranjo, F. 2008. La situación del Paisaje en España. Líneas para la aplicación y desarrollo del Convenio Europeo del Paisaje. TOMO V/VI. Marco conceptual y metodológico para la aplicación del Convenio Europeo del Paisaje (Síntesis de la metodología para tres escalas). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Centro de Estudios Paisaje y Territorio. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Universidades Públicas De Andalucía. Universidad de Sevilla. 369 pp.

BIBLIOGRAFÍA CAPITULO II.

- Adame Garza, J.A. 2010. Efecto de una doble concentración de bióxido de carbono en la atmósfera sobre la disponibilidad de agua en la cuenca del río Guayalejo- Tamesí en el Estado de Tamaulipas, México. Ponencia del Taller de Fortalecimiento Académico y Empresarial en la Región Noreste. Reunión en la Región Noreste para el Intercambio de Conocimiento de los Sectores Académicos y Empresarial sobre el Tema de Cambio Climático. INE, Diálogo Académico-Empresarial hacia la 16ª edición de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP16). 12 y 13 de agosto de 2010 en Torreón, Coah. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/sa-cop-16-calendario/918-cop16-tr2>
- Cantú Ayala, C., S. Casas González, J. García Jiménez, A. Moreno Valdez, J. M. Scott, G. Requena Lara y M. González Lazcari. 2005. Contribution to Gap Analysis of Tamaulipas State, Mexico. Presentación en la 2005 National GAP Meeting and Interagency Symposium. Reno, Nevada. EUA. Diciembre 2005
- CONEVAL, Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. 2012. Informe de pobreza y evaluación en el estado de Tamaulipas 2012. México, D.F. 56 pp. Disponible en: <http://www.coneval.gob.mx/coordinacion/entidades/Documents/Tamaulipas/principal/28informe2012.pdf>
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2000. Bases de datos sobre biodiversidad. Documentos digitales, cortesía del Proyecto GAP, de Cantú *et al.*, 2005.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. 2011a. Anexo de las Estadísticas del Agua 2011. Disponible en: <http://www.cna.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=87&n4=32>
- CONAPESCA, Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca y UANL. 2005. Programa Maestro Sistema Producto Bagre Tamaulipas. Disponible en: http://www.conapescasagarpa.gob.mx/work/sites/cona/dgof/Programa_Maestro_Bagre-Tamaulipas.pdf: 18-dic-06
- DOF. 2006. Tomo DCXXXIII. Primera Sección. SEMARNAT. Aviso por el que se informa al público en general que están a su disposición los estudios realizados para justificar la expedición del Decreto por el que se pretende declarar como área natural protegida con el carácter de Reserva de la Biosfera, la zona conocida como Sierra de Tamaulipas, con una superficie de 290,311-29-00 hectáreas, localizada en los municipios de Aldama, Casas, González, Llera y Soto La Marina, en el Estado de Tamaulipas. Lunes 5 de junio de 2006.
- ENOE, Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo. 2011. Datos relativos con base en el censo de población y vivienda 2010. Indicadores Trimestrales. INEGI. Disponible en <http://www.stps.gob.mx/>
- GIOT, Grupo Interdisciplinario para el Ordenamiento Territorial. 2000. Programa de Ordenamiento Territorial. Guía Metodológica para el Programa Estatal de Ordenamiento Territorial. SEDESOL-SEMARNAP-CONAPO-INEGI. México. 175 pp.
- Gob-Edo. sin año. Página oficial. Disponible en: <http://www.tamaulipas.gob.mx/tamaulipas/>
- Hernández Sandoval, A. I. 2003. Estudio Ictiofaunístico del Río Guayalejo, Tamaulipas. Tesis para obtener el título de Licenciado en Biología. Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. México. 301 pp.
- INEGI. 2000. Tamaulipas, XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Tabulados Básicos. Tomo I.
- INEGI, 2000a. Conjunto Nacional de Datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250 000 Serie II (Digital).
- INEGI. 2000b. Cartografía digital temática socioeconómica. Escala 1:250,000.
- INEGI. 2005. Censo de Población y Vivienda 2005. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2005/default.aspx>
- INEGI, 2005a. Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación escala 1:250000, serie III. INEGI.
- INEGI. 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>
- INFDM, Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. 2005. Enciclopedia de los Municipios de México. Estado de Tamaulipas. Gobierno del Estado de Tamaulipas. Disponible en: <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/tamaulipas/>
- Rzedowski, J., 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa, México DF. 432pp
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2004. Anuario de Estadísticas Agropecuarias de Tamaulipas, 2004. Documento oficial de OEIDRUS Tamaulipas. 892 pp.
- SecGen-Tam. 2010 (a). Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas (Presupuesto de Egresos para el Ejercicio Fiscal 2011 de varios municipios). TOMO CXXXV. Número 146. Cd. Victoria, Tam., miércoles 8 de diciembre de 2010.
- SecGen-Tam. 2010 (b). Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas (Presupuesto de Egresos para el Ejercicio Fiscal 2011 de varios municipios). TOMO CXXX. Anexo al Número 154. Cd. Victoria, Tam., martes 28 de diciembre de 2010.

- SecGen-Tam. 2010 (c). Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas (Presupuesto de Egresos para el Ejercicio Fiscal 2011 de varios municipios). TOMO CXXXV. Extraordinario Número 7. Cd. Victoria, Tam., viernes 31 de diciembre de 2010.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2006. Tomo DCXXXIII. Primera Sección.. Aviso por el que se informa al público en general que están a su disposición los estudios realizados para justificar la expedición del Decreto por el que se pretende declarar como área natural protegida con el carácter de Reserva de la Biosfera, la zona conocida como Sierra de Tamaulipas, con una superficie de 290,311-29-00 hectáreas, localizada en los municipios de Aldama, Casas, González, Llera y Soto La Marina, en el Estado de Tamaulipas. Lunes 5 de junio de 2006.
- SGM, Servicio Geológico Mexicano. 2001. Carta Geológica Digital 1:250,000. Información en: http://www.sgm.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=128&Itemid=111
- UAT, Universidad Autónoma de Tamaulipas. 2001. Diagnóstico Ecológico del Estado de Tamaulipas. Documento inédito. Ciudad Victoria. México.
- UAT-ITESM-UANL-UAAAN, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey y Pronatura Noreste A.C. 2005. Ordenamiento Ecológico de la Región Cuenca de Burgos. 1ª Fase: Caracterización de todos los Componentes y Diagnóstico del Componente Biofísico. Documento en Preparación para INE-SEMARNAT
- UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México. 2000. Carta digital del Inventario Nacional Forestal (INF). México, DF.
- Vera Vázquez, R. 2004. La cuenca del río Guayalejo-Tamesí, situación actual políticas públicas y perspectivas. El Colegio de Tamaulipas, A.C. 186 pp.

BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO III

- Vital Maceda, M.F. y E. Sours Renfrew. 1985. Región de influencia de los distritos de control de la contaminación en la desembocadura del "Río Pánuco". Sistemas de Ingeniería Ambiental, S.A. de C.V. para la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Puebla, México. 181 pp + anexos.
- DOF, 2012. DECLARATORIA DE DESASTRE NATURAL Perturbador en el sector agropecuario, acuícola y pesquero, a consecuencia de sequía atípica y en virtud de los daños ocasionados por dicho fenómeno meteorológico que afectó a los municipios de Aldama, Antiguo Morelos, Burgos, Bustamante, Camargo, Casas, Cruillas, El Mante, Gómez Farías, González, Güémez, Gustavo Díaz Ordaz, Hidalgo, Jiménez, Llera, Mainero, Matamoros, Méndez, Mier, Miguel Alemán, Miquihuana, Nuevo Laredo, Nuevo Morelos, Ocampo, Padilla, Palmillas, Reynosa, Río Bravo, San Carlos, San Fernando, San Nicolás, Soto la Marina, Tula, Valle Hermoso y Victoria del Estado de Tamaulipas. 26 de Enero de 2012.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2010. El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 197 pp., México, DF.
- CONAFOR, Comisión Nacional Forestal. 2008. Especificaciones técnicas para el monitoreo de la cobertura de la vegetación basado en imágenes de satélite MODIS. Disponible en: http://148.223.105.188:2222/gif/snif_portal/index.php?option=com_content&task=view&id=2&Itemid=3
- CONAFOR. 2008b. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Información preliminar. Disponible en <http://www.cmss.org.mx/biblioteca/194-inventario-nacional-forestal-y-de-suelos-informacion-preliminar.html>
- CONANP, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2008. Áreas Naturales Protegidas Federales. México. Morelia, Michoacán, México.
- Couturier, S. 2011. Capítulo 11. Evaluación de la cobertura vegetal en México: aciertos y sesgos del mapa derivado del sensor MODIS. EN Mas, J. F. (Coord.). 2011. Aplicaciones del Sensor MODIS para el Monitoreo del territorio. SEMARNAT-INE-UNAM-CIGA. México. 317pp.
- Cruz López, M.I.; G. López Saldaña; R. Ressler y R. Colditz. 2011. Capítulo 6. Sistema de alerta temprana para incendios forestales en México. EN Mas, J. F. (Coord.). 2011. Aplicaciones del Sensor MODIS para el Monitoreo del territorio. SEMARNAT-INE-UNAM-CIGA. México. 317pp.
- Hein, L; K. van Koppen; R.S. De Groot; y E.C van Ierland. 2006. Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. Ecological Economics. (57) 209 – 228.
- Hernández Brambila, M.A. 2006. Los bosques mesófilos de montaña en Tamaulipas y su protección a través del método de análisis de omisiones de conservación (GAP). Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. México. 77pp.
- Hernández Sandoval, L.; C. González Romo; F. González Medrano. 1991. Plantas útiles de Tamaulipas, México. Anales Inst. Biol. UNAM, Ser. Bot. 62(1): 1-38, 1991.

- INE, Instituto Nacional de Ecología. 1993. Proyecto de ordenamiento ecológico, urbano, industrial y portuario de la zona conurbada de la desembocadura del río Pánuco, Tamaulipas- Veracruz ; resumen ejecutivo. SEDESOL. México. 274 pp + anexos.
- INEGI, 2000. Conjunto Nacional de Datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250 000 Serie II (Digital).
- INEGI (2004?). Guía on line para la interpretación cartográfica digital e impresa de uso de suelo y vegetación: http://148.223.105.188:2222/qif/snif_portal/secciones/inventarionacional/documentos/GuiaInformacionInegi.pdf
- INEGI, 2005. Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación escala 1:250 000, serie III. INEGI.
- INEGI. 2006. División Municipal de México, 2005. Obtenido del marco Geoestadístico Municipal, II Censo de Población y Vivienda 2005. Versión 1.0. Escala 1:250000. México.
- INEGI. 2009a. Diccionario de datos de Uso del Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000. INEGI. México. 50 pp.
- INEGI. 2009b. Guía para la Interpretación de Cartografía Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000. Serie III. INEGI. México. 74 pp.
- Miranda, F. y E. Hernández-X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Boletín de la Sociedad Botánica de México 28:29-179.
- Parkinson, C. L. y R. Greenstone. 2000. EOS Data Products Handbook. Greenbelt, MD: NASA Goddard Space Flight Center, 2000,vol. 2: 1-253.
- Puig, H. 1991. Vegetación de la Huasteca (México), estudio fitogeográfico y ecológico. Instituto de Ecología AC, CEMCA e Institut Francaise de Recherche Scientifique Pour le Developpement en Coopération. 626 pp.
- Requena-Lara, G. N. 2008. Propuesta de Ordenación de los Recursos Naturales en la Cuenca Guayalejo-Tamesí (Tamaulipas, México). Tesina/trabajo de Fin de Máster. Universidad de Sevilla, España. 94 pp.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa.S.A.
- Salomonson, V., J. Kuyper; A. Isaacman y G.N. Toller. 2006. MODIS Level 1B Product User's Guide for Level 1B Version 5.0.6 (Terra) and Version 5.0.7 (Aqua). MODIS Support Team for NASA/G SFC.
- SGM, Servicio Geológico Mexicano. 2001. Carta Geológica Digital 1:250,000
- Swanwick, C. 2002. Landscape character assessment. Guidance for England and Scotland. Documento Para The Countryside Agency y Scottish Natural Heritage por el Department of Landscape- University of Sheffield y Land Use Consultants. 84 pp + Abstract + Topic papers.
- UAT, Universidad Autónoma de Tamaulipas. 2001. Diagnóstico Ecológico del Estado de Tamaulipas. Documento inédito. Ciudad Victoria. México.
- UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México. 2000. Carta digital del Inventario Nacional Forestal (INF). México, DF.
- Villaseñor, J.L. 2010. El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares: catálogo florístico-taxonómico. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad - Universidad Nacional Autónoma de México. 40 pp. México, D.F.

BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO IV: VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO

- CONAFOR, Comisión Nacional Forestal. 2006. México Forestal. Bosques y Selvas para Siempre. Revista electrónica de la CONAFOR. Número 36.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. 2011a. Anexo de las Estadísticas del Agua 2011. Disponible en: <http://www.cna.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=87&n4=32>
- Couturier, S. 2011. Capítulo 11. Evaluación de la cobertura vegetal en México: aciertos y sesgos del mapa derivado del sensor MODIS. EN Mas, J. F. (Coord.). 2011. Aplicaciones del Sensor MODIS para el Monitoreo del territorio. SERMARNAT-INE-UNAM-CIGA. México. 317pp.
- Cruz López, M.I.; G. López Saldaña; R. Ressler y R. Colditz. 2011. Capítulo 6. Sistema de alerta temprana para incendios forestales en México. EN Mas, J. F. (Coord.). 2011. Aplicaciones del Sensor MODIS para el Monitoreo del territorio. SERMARNAT-INE-UNAM-CIGA. México. 317pp.
- Hernández Brambila, M.A. 2006. Los bosques mesófilos de montaña en Tamaulipas y su protección a través del método de análisis de omisiones de conservación (GAP). Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. México. 77pp.
- INEGI, 2000. Conjunto Nacional de Datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250 000 Serie II (Digital).
- INEGI, 2005. Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación escala 1:250000, serie III. INEGI.
- INEGI. 2009a. Diccionario de datos de Uso del Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000. INEGI. México. 50 pp.
- INEGI. 2009b. Guía para la Interpretación de Cartografía Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000. Serie III. INEGI. México. 74 pp.

- Foroughbakhch P., R.; A.E. Céspedes C; M.A. Alvarado V. y A. Núñez G., M. H. Badii. 2004. Aspectos ecológicos de los manglares y su potencial como fitorremediadores en el Golfo de México. Ciencia UANL / Vol. VII, No. 2:203-208. Abril-Junio 2004.
- Mora-Olivo, A. y J.L. Villaseñor. 2007. Diversidad y distribución de la flora vascular acuática de Tamaulipas, México. Journal of the Botanical Research Institute of Texas.
- NADM, National Climatic Data Center. 2012. Temperature, Precipitation, and Drought. National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponible en: <http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/>
- Orozco, R. 2008. Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009. Presentación de conferencia de la VII Reunión Nacional de Estadística (mayo de 2008) Aguascalientes. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/re/docs/Pdfs/Mesa3/20/RodolfoOrozco.pdf>.
- OEIDRUS (Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable). 2011. Boletín de la OEDRIUS. Avances Estadísticos del Sector Rural de Tamaulipas. Vol 5. N°3. Mayo- Junio 2011. Gobierno del Estado de Tamaulipas y SAGARPA.
- PrCivTam, Gobierno del Estado de Tamaulipas-Dirección de Protección Civil; Secretaría de Gobernación; Secretaría de Economía y Servicio Geológico Mexicano. 2011. Atlas de Riesgos del Estado de Tamaulipas. <http://proteccioncivil.tamaulipas.gob.mx/wp-content/uploads/2012/03/ATLAS-DE-RIESGOS-DEL-ESTADO-DE-TAMAULIPAS.pdf>
- Requena-Lara, G. N. 2008. Propuesta de Ordenación de los Recursos Naturales en la Cuenca Guayalejo-Tamesí (Tamaulipas, México). Tesina/trabajo de Fin de Máster. Universidad de Sevilla, España. 94 pp.
- SEMARNAT. 2012. Declaratoria de desastre natural. Perturbador en el sector agropecuario, acuícola y pesquero, a consecuencia de sequía atípica y en virtud de los daños ocasionados por dicho fenómeno meteorológico que afectó a los municipios de Aldama, Antigua Morelos, Burgos, Bustamante, Camargo, Casas, Cruillas, El Mante, Gómez Farías, González, Güémez, Gustavo Díaz Ordaz, Hidalgo, Jiménez, Llera, Mainero, Matamoros, Méndez, Mier, Miguel Alemán, Miquihuana, Nuevo Laredo, Nuevo Morelos, Ocampo, Padilla, Palmillas, Reynosa, Río Bravo, San Carlos, San Fernando, San Nicolás, Soto la Marina, Tula, Valle Hermoso y Victoria del Estado de Tamaulipas. Diario Oficial de la Federación, del 26 de Enero de 2012.
- SEDUE, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. 1984. Proyecto de Ordenamiento Ecológico del Puerto Industrial de Altamira, Tamps. y de su Área de Influencia, I .D.D.E.C., S.A., México, D.F., 230 p.
- Treviño Garza, E.J., C. Cavazos Camacho, O.A. Aguirre Calderón. 2001. Distribución y estructura de los bosques de galería en dos ríos del centro sur de Nuevo León. Madera y Bosques 7(1), 2001:13-25 13. México.
- UAT, Universidad Autónoma de Tamaulipas. 2001. Diagnóstico Ecológico del Estado de Tamaulipas. Documento inédito. Ciudad Victoria. México.
- UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México. 2000. Carta digital del Inventario Nacional Forestal (INF). México, DF.

BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO IV: Calidad del Hábitat

- Bosque Maurel, J. 2011. El patrimonio natural e histórico-monumental. Español algunos problemas actuales. Cuadernos Geográficos, 48 (2011-1), 9-45
- Céspedes Cabrales, A. E. 1999. Tendencias en la Dinámica Poblacional y Manejo de los Manglares en la cuenca del río Panuco, límite tropical del Golfo de México. Tesis doctoral. UANL. Monterrey, México. 162 pp + anexos.
- CICC, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. 2007. Estrategia Nacional de Cambio Climático. México. Síntesis Ejecutiva. SEMARNAT-INE. 16 pp.
- Coffin, A.W. 2007. From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. Journal of Transport Geography. 15: 396-406.
- CONANP, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2005. "Estudio Previo Justificativo para el establecimiento de la Reserva de la Biosfera Sierra de Tamaulipas". México, D.F., pp. 89
- Costanza, R. y S. Farber. 2002. Introduction to the special issue on the dynamics and value of ecosystem services: integrating economic and ecological perspectives. Ecological Economics. 41 (2002): 367-373.
- Danemann, G., G. Cordero, M. Cortés. C. Torrescano y V. Valdez. 2010. Valor económico de las pesquerías generadas por el ecosistema de manglar en Marismas Nacionales, México. Resumen técnico de investigación, no publicado. Pronatura Noroeste AC (Calle Décima N°60, Zona Centro, Ensenada, Baja California 22800, México. 4 pp.

- Farber, S.; R. Costanza; D.L. Childers; J. Erickson; K. Gross; M. Grove; Ch.S. Hopkinson; J. Khan; S. Pincetl; A. Troy; P. Warren y M. Wilson. 2006. Linking ecology and economics for the ecosystem management. *Bioscience*. Vol. 56 (2): 117- 129.
- Gregory, R. y Wellman, K. 2001. Bringing stakeholder values into environmental policy choices: a community-based estuary case study. *Ecological Economics* 39 (1), 37-52.
- Gob. Edo., Gobierno del Estado de Tamaulipas. 2011. Atlas de riesgos del estado de Tamaulipas. 355 pp.
- Hawkings, K. 2003. Economic Valuation of Ecosystem Services. University of Minnesota. 42 pp. (<http://www.environmentalmanager.org/wp-content/uploads/2008/04/valuation%2520of%2520ecosystems.pdf>)
- Herrera Izaguirre, J.A.; F. Hernández Contreras; O. Flores Rosales y J.F. Isaac García. 2008. Agenda Olvidada: La Protección de la Diversidad Biológica en la Frontera México Estados Unidos. DELOS: Desarrollo Local Sostenible. Una revista académica. Vol 1, N° 1 (febrero 2008). www.eumed.net/rev/delos/01/
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2007. Información estadística por tema. (<http://www.inegi.gob.mx/est/default.aspx>): 03-ene-2007.
- INEGI. 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. (<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>)
- Kareiva, P.; H. Tallis; T.H. Ricketts; G.C. Daily y S. Polasky (Eds.). 2011. Natural Capital. Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services. Oxford University Press. Oxford. 365 pp.
- Kiss, A. 2002. Making biodiversity conservation a land use priority. The World Bank Africa Environment and Social Development Unit. 22 pp.
- Kiss, A. 2004. Making biodiversity conservation a land use priority. EN: Getting Biodiversity Projects to Work: Towards More Effective Conservation and Development. T. McShane and M. Wells, eds. Columbia University Press, New York. 464 pp.
- López Portillo, J. y E. Excurra. 2002. Los manglares en México: una revisión. *Madera y Bosques* Número especial, 2002:27-51.
- Martín-López, B.; E. Gómez-Baggethun, J. A. González, P. L. Lomas y C. Montes 2009. The assessment of ecosystem services provided by biodiversity: re-thinking concepts and research needs. Cap. 9. Handbook of Nature Conservation. Editor: Jason B. Aronoff.
- McNeely, J.A. 1988. Economics and Biological Diversity: Developing and Using Economic Incentives to Conserve Biological Resources. IUCN, Gland, Switzerland
- Mediavilla García, C; J. Serrada Hierro y R. Serrano Navarro. 2011. La red de parques nacionales en la sociedad. Estudio explicativo sobre la percepción social de la Red de Parques Nacionales. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 71 pp.
- Naranjo, E.J.; R. Dirzo; J.C. López Acosta; J. Rendón-von Osten; A. Reuter y O. Sosa-Nishizaki. 2009. Impacto de los factores antropogénicos de afectación directa a las poblaciones silvestres de flora y fauna, en *Capital natural de México*, vol. II: *Estado de conservación y tendencias de cambio*. Conabio, México, pp. 247-276.
- Nelson, E; D.R. Cameron; J. Regetz, S. Polasky y G.C. Daily. 2011. Chapter 13. Terrestrial Biodiversit. EN P. Kareiva, P.; H. Tallis; G. Daily; T. Ricketts y S. Polasky (Eds.). 2011. Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services. Oxford University Press. 365 pp.
- Nunes, P. A.L.D. y C.J.M. Van den Bergh. 2001. Economic valuation of biodiversity: sense or nonsense? *Ecological Economics* 39 (2001): 203-222.
- POT-tam, Periódico Oficial de Tamaulipas. 1985. Decreto expedido por el Ejecutivo del Estado, por medio del cual por causa de utilidad pública, se declara área ecológica protegida, clasificada como Reserva de la Biosfera denominada "EL CIELO" ubicada en los municipios de Gómez Farías, Ocampo, Llera y Jaumave, del Estado de Tamaulipas. 13 de julio de 1985.
- Requena-Lara, G. N. 2008. Propuesta de Ordenación de los Recursos Naturales en la Cuenca Guayalejo-Tamesí, Tamaulipas, México. Trabajo de Fin de Máster. Departamento de Geografía Física de la Facultad de Geografía e Historia. Universidad de Sevilla. España. 92 pp.
- RPN, Red de Parques Nacionales. 2008. Primer informe de situación de la red de Parques Nacionales a 1 de enero de 2007. Parque Nacional de Doñana: indicadores de estado y gestión. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 30 pp.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa.S.A.
- Sánchez, Ó.; R. Medellín; A. Aldama; B. Goettsch; J. Soberón y M. Tambutti. 2007. Método de evaluación del riesgo de extinción de las especies silvestres en México (MER). INE-SEMARNAT, UNAM, CONABIO. México. 170 pp.
- Scott, C. 2003. "*Oncorhynchus tshawytscha*" (On-line), Animal Diversity Web. Accessed April 04, 2012. (http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/accounts/information/Oncorhynchus_tshawytscha.html)
- SecGen-Tam. 2010 (a). Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas (Presupuesto de Egresos para el Ejercicio Fiscal 2011 de varios municipios). TOMO CXXXV. Número 146. Cd. Victoria, Tam., miércoles 8 de diciembre de 2010.

- SecGen-Tam. 2010 (b). Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas (Presupuesto de Egresos para el Ejercicio Fiscal 2011 de varios municipios). TOMO CXXX. Anexo al Número 154. Cd. Victoria, Tam., martes 28 de diciembre de 2010.
- SecGen-Tam. 2010 (c). Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas (Presupuesto de Egresos para el Ejercicio Fiscal 2011 de varios municipios). TOMO CXXXV. Extraordinario Número 7. Cd. Victoria, Tam., viernes 31 de diciembre de 2010.
- SEMARNAP, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 2000. Ordenamiento Ecológico General del Territorio. Instituto Nacional de Ecología. Dirección General de Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental. 36 pp.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2003. NORMA Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003, Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar. Diario Oficial de la Federación del Jueves 10 de abril de 2003. Primera Sección: 16-41.
- SEMARNAT, 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, que establece la Protección ambiental- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación del Jueves 30 de diciembre de 2010. Segunda Sección. 78 pp.
- SGM, Servicio Geológico Mexicano. 2011. Panorama minero del Estado de Tamaulipas. Coordinación General de Minería. 52 pp.
- SOPDU, Sra de Turismo. 2010a. DECRETO Gubernamental mediante el cual se aprueba el Programa Regional de Ordenamiento Territorial de la Reserva de la Biósfera "El Cielo". POTAM No. 34, ext. 4, del 22-MAR-2010
- SOPDU, Sra de Turismo. 2010a. PROGRAMA Regional de Ordenamiento Territorial de la Reserva de la Biósfera "El Cielo". POTAM No. 34, ext. 4, del 22-MAR-2010
- Spalding, M.D.; F. Blasco y C. Field. 1997. World Mangrove Atlas. The International Society for Mangrove Ecosystems. Okinawa, Japón. 178 p.
- Tallis, H.T.; T. Ricketts; E. Nelson; D. Ennaanay; S. Wolny; N. Olwero; K. Vigerstol; D. Pennington; G. Mendoza; J. Aukema; J. Foster; J. Forrest; D. Cameron; E. Lonsdorf y C. Kennedy. 2010. INVEST 1.005 beta User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford. 162 pp.
- Tiner, R.W. Jr. 1984. Wetlands of the United States; current status and recent trends. National Wetlands Inventory, Fish and Wildlife Service, U.S. Department of Interior. 59pp. (Tiner, 1984. P29).
- Tudón, 2008; en prensa: <http://www.eluniversal.com.mx/estados/67190.html>.
- UAT, Universidad Autónoma de Tamaulipas. 2001. Diagnóstico Ecológico del Estado de Tamaulipas. Documento inédito. Ciudad Victoria. México

BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO IV: Carbono

- Barth, R. C. y J.O. Klennedson. 1982. Amount and Distribution of Dry Matter, Nitrogen, and Organic Carbon in Soil-Plant Systems of Mesquite and Palo Verde. Journal Of Range Management.
- Bernal, B. y W. J. Mitsch. 2012. Comparing carbon sequestration in temperate freshwater wetland communities. Global Change Biology. Volume 18, Issue 5, pages 1636-1647, May 2012.
- Bezaury Creel, J.E. 2009. El valor de los bienes y servicios que las áreas naturales protegidas proveen a los mexicanos. TheNatureConservancy - Programa México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 32 pp. México.
- Bouillon, S.; V.H. Rivera-Monroy; R.R. Twilley y J.G. Kairo. 2009. Mangroves. EN Laffoley, D.d'A. y G. Grimsditch (Eds). 2009. The management of natural coastal carbon sinks. IUCN, Gland, Switzerland. 53 pp.
- Boyd y Banzhaf, 2007. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. Ecological Economics. 616-626 pp.
- Churkina, G.; Brown, D.G. y Keoleian, G. 2009. Carbon stored in human settlements: the conterminous United States. Global Change Biology 135-143 pp.
- CICC, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. 2007. Estrategia Nacional de Cambio Climático. México. Síntesis Ejecutiva. SEMARNAT-INE. 16 pp.
- CICC. 2009. México. Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. SEMARNAT-INE (Coordinadores) 274 pp.
- Alba, E. y M. Reyes, (1998) "La diversidad biológica de México: estudio de país 1998" en Capítulo 7. Valoración económica de los recursos biológicos del país. Disponible en: www.conabio.gob.mx/conocimiento/estrategi_nacionaldoctos/CAP7.PDF

- De Jong, B.H.J. 2001. Cambio de uso de suelo y flujos de carbono en los Altos de Chiapas, México. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, 18 al 20 de Octubre 2001. Valdivia, Chile. 33-38. Disponible en: http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/02_De_Jong.PDF
- Donato, D.C.; J. B. Kauffman; D. Murdiyarso; S. Kurnianto; M. Stidham y M. Kanninen. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience. Letters*. Published online: 3 april 2011. Advance online publication. www.nature.com/naturegeoscience
- Erich, E., P. J. Drohan, L. R. Ellis, M. E. Collins, M. Payne y D. Surabian. 2010. Subaqueous soils: their genesis and importance in ecosystem management. *British Society of Soil Science, Soil Use and Management*.
- Etchevers, J.; M. Acosta; C. Monreal; K. Quednow y L. Jiménez. 2001. Los Stocks de Carbono en diferentes compartimientos de la parte aérea u subterránea en sistemas forestales y agrícolas de ladera en México. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México.
- Jaramillo V. J., Angelina Martínez-Yrizar, Luz Piedad Romero-Duque, J. Boone Kauffman y Felipe García-Oliva. 2001. Los Stocks de Carbono en diferentes compartimientos de la parte aérea y subterránea en sistemas forestales y agrícolas de ladera en México.
- Geesing, D.; P. Felker y R.L. Bingham. 2000. Influence of mesquite (*Prosopis glandulosa*) on soil nitrogen and carbon development: implications for global carbon sequestration. *Journal of Arid Environments* 46:157-180.
- GMx y BM, Gobierno de México y Banco Mundial. 1995. Estudio del subsector forestal y de conservación de los recursos. Cultura Ecológica, A.C. y Gestión Ambiental Mexicana. 129 pp. Disponible en: <http://148.206.53.231/bdcdrom/GAM06/GAMV15/root/docs/INF-017.PDF>
- Gob. Edo, Gobierno del Estado de Tamaulipas. 2011. Atlas de Riesgo del Estado de Tamaulipas. 335 pp. Disponible en: <http://proteccioncivil.tamaulipas.gob.mx/atlas-de-riesgos-del-estado-de-tamaulipas/>
- Hernández, M. E. 2010. Suelos de Humedales como sumideros de Carbono y Fuentes de Metano. vol. 28, núm. 2, abril-junio, 2010, pp. 139-147. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Hernández, 2011. En prensa: <http://eldiariodevictoria.com.mx/2011/12/07/siniestra-sequia-90-de-cosechas/12-ene-2012>
- Herrera, 2012, en prensa: <http://www.presidencia.gob.mx/2012/07/mexico-ejemplo-de-sustentabilidad-a-nivel-mundial/>
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendía L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón.
- Jaramillo V.J., Angelina Martínez-Yrizar, Luz Piedad Romero-Duque, J. Boone Kauffman y Felipe García-Oliva. 2005. Carbon Stocks in Tropical Forest of Mexico. Póster. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Jerath, M. 2012. An Economic Analysis of Carbon Sequestration and Storage Service by Mangrove Forests in Everglades National Park, Florida. *FIU Electronic Theses and Dissertations*. Paper 702. Disponible en: <http://digitalcommons.fiu.edu/etd/702>
- Kayranli B., M. Scholz, A. Mustafa y A. Hedmark. 2010. Carbon Storage and Fluxes within Freshwater Wetlands: a Critical Review. *Wetlands* (2010) 30:111-124
- Kauffman, J.B.; Hughes, R.F. y Heider, C. 2009. Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use, and agricultural abandonment in the neotropics. *Ecological Applications*, pp. 1211-1222.
- Lal, R. 2012. Parte I. Urban Ecosystems and Climate Change. EN Lal, R. y B. Augustin (Eds). 2012. Carbon Sequestration in Urban Ecosystems. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 385 pp.
- Lal, R. y B. Augustin (Eds). 2012. Carbon Sequestration in Urban Ecosystems. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 385 pp.
- Manzano, M.G., J., Cantú Vega, F.J. Silva Cavazos y J. Martínez Medina. 2009. Método Práctico para estimación de Biomasa y Carbono acumulado en poblaciones naturales de mezquite (*Prosopis Glandulosa*) en el Noreste de México. VI Simposio Internacional de Pastizales. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Martínez Bravo, R. D. y O. R. Maser C. 2003. La captura de carbono como servicio ecosistémico del Parque Ecológico Jaguarundi: Una estrategia para la conservación y manejo de los recursos forestales. Laboratorio de Bioenergía, Centro de Investigación en Ecosistemas, UNAM.
- Messa Arboleda, H.F. 2009. Balance de gases de efecto invernadero en un modelo de producción de ganadería doble propósito con alternativas silvopastoriles en Yaracuy, Venezuela. Tesis de Maestría en Ciencias del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 225 pp.
- Návar-Cháidez, J. J. y E. Jurado- Ybarra. 2009. Productividad Foliar y Radicular en ecosistemas forestales del Noreste de México. *Revista Ciencia Forestal en México*. Vol. 34. Núm. 106.

- OEIDRUS (Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable). 2011. Boletín de la OEDRIUS. Avances Estadísticos del Sector Rural de Tamaulipas. Vol 5. N°3. Mayo- Junio 2011. Gobierno del Estado de Tamaulipas y SAGARPA.
- Ortiz, R. y M. Kanninen. 2000. Evaluación económica del servicio del sumidero de carbono en diferentes ecosistemas forestales. EN. Robles Valle, G.R.; K. Oliviera Barbosa y R. Villalobos Soto (Eds.)2000. Evaluación de los recursos forestales mundiales. Evaluación de los recursos forestales no madereros en América Central. Documento de Trabajo 22 del Programa de Evaluación de los Recursos Forestales. Departamento de Montes de la FAO. Roma.
- Palm, C.A.; P. L. Woormer; J. Alegre; L. Arevalo; C. Castilla; D. G. Cordeiro; B. Feigl; K. Hairiah; J. Kotto-Same; A. Mendes; A. Moukam; D. Murdiyaro; R. Njomgang; W. J. Parton; A. Ricse; V. Rodrigues; S. M. Sitompul y M. van Noordwijk. 1999. Carbon sequestration and trace gas emissions in slash-and-burn and alternative land uses in the humid tropics. Alternatives to Slash-and-Burn Programme Climate Change Working Group. Final report, Phase II. 17pp. The Consultative Group on International Agricultural Research Nairobi.
- Pan, Y; R. A. Birdsey; J. Fang; R. Houghton; P. E. Kauppi; W. A. Kurz; O. L. Phillips; A. Shvidenko; S. L. Lewis; J. G. Canadell; P. Ciais; R. B. Jackson; S. W. Pacala; A.D. McGuire; S. Piao; A. Rautiainen; S. Sitch y D. Hayes. 2011. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science* 333, 988 (2011): 988-993.
- Peters-Stanley, M.; K. Hamilton y D. Yin. 2012. Leveraging the Landscape. State of the Forest Carbon Markets 2012 Ecosystem Marketplace. 86 pp. Disponible en: http://www.foresttrends.org/publication_details.php?publicationID=3242
- Rahim Foroughbakhch, P.; G. J. Alanis Flores, J. L. Hernández Piñero y A. Carrillo Parra. 2010. The structure and function of vegetal ecosystems of semiarid areas in Northeastern Mexico. Chapter 2. In: Structural Analysis. Editor: M.L. Camilleri, pp. 21-50. Nova Science Publishers, Inc.
- Rocha, A. V. y Michael L. Goulden. 2008. Why is marsh productivity so high? New insights from eddy covariance and biomass measurements in a Typha marsh. *Agricultural and Forest Meteorology* 149 (2009): 159-168.
- Rodríguez Laguna, R.; J. Jiménez Pérez, Óscar A. Aguirre Calderón, Eduardo J. Treviño Garza. 2006 . Estimación del Carbono almacenado en Bosque de Niebla en Tamaulipas, México. *Ciencia UANL / Vol. IX, No. 2*.
- Rodríguez-Laguna, R. , J. Jiménez-Pérez, J. Meza-Rangel, O. Aguirre-Calderón y R. Razo-Zarate. 2008. Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4 (2):215 -222.
- Roshetko, J.M., M. Delaney, K. Hairiah y P. Pumomosidhi. 2002. Carbon stocks in Indonesian homegarden systems: Can smallholder systems be targeted for increased carbon storage?. *American Journal of Alternative Agriculture*. Vol 17, N° 2.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa.S.A.
- SecGen-Tam, Secretaría General del Gobierno del Estado de Tamaulipas. 2010 (a). Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas (Presupuesto de Egresos para el Ejercicio Fiscal 2011 de varios municipios). TOMO CXXXV. Número 146. Cd. Victoria, Tam., miércoles 8 de diciembre de 2010.
- SecGen-Tam. 2010 (b). Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas (Presupuesto de Egresos para el Ejercicio Fiscal 2011 de varios municipios). TOMO CXXX. Anexo al Número 154. Cd. Victoria, Tam., martes 28 de diciembre de 2010.
- SecGen-Tam. 2010 (c). Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas (Presupuesto de Egresos para el Ejercicio Fiscal 2011 de varios municipios). TOMO CXXXV. Extraordinario Número 7. Cd. Victoria, Tam., viernes 31 de diciembre de 2010.
- SEMARNAT-DOF, Secretaría Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2004. ACUERDO que establece las Reglas de Operación para el otorgamiento de pagos del Programa para desarrollar el mercado de servicios ambientales por captura de carbono y los derivados de la biodiversidad y para fomentar el establecimiento y mejoramiento de sistemas agroforestales (PSA-CABSA). Diario Oficial de la Federación del Miércoles 24 de noviembre de 2004. Segunda Sección (89-111). México.
- SEMARNAT, 2012. Decreto por el que se expide la Ley General de Cambio Climático. Diario Oficial de la Federación del Miércoles 6 de junio de 2012. Segunda Sección: 1-29.
- Sosa Cedillo, V. 2006?. Programa Estratégico Forestal del Estado de Tamaulipas (PEFT) 2006-2025. Para CONAFOR y Gobierno de Estado de Tamaulipas. 171 pp. Disponible en: <http://www.campotamaulipas.gob.mx/oeidrus/pdfs/legal/DOCUMENTO%20PEFT%205.0.pdf>
- Tallis, H.; Karelva, P.; Marvler, M. y Chang, A. 2008. An ecosystem services framework to support both practical conservation and economic development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(28): 9457-9464

- Tallis, H.T.; T. Ricketts; E. Nelson; D. Ennaanay; S. Wolny; N. Olwero; K. Vigerstol; D. Pennington; G. Mendoza; J. Aukema; J. Foster; J. Forrest; D. Cameron; E. Lonsdorf y C. Kennedy. 2010. INVEST 1.005 beta User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford. 162 pp.
- Tallis, H.T.; T. Ricketts; A.D. Guerry; E. Nelson; D. Ennaanay; S. Wolny; N. Olwero; K. Vigerstol; D. Pennington; G. Mendoza; J. Aukema; J. Foster; J. Forrest; D. Cameron; E. Lonsdorf ; C. Kennedy; G. Verutes; C. K. Kin; G. Guannel; M. Papenfus; J. Toft; M. Marisk; J. Bernhardt.; S. Wood y R. Sharp. 2011. INVEST 2.1 beta User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford. 260 pp.
- Vargas, R; Allen, M.F. y Allen E. B. 2008. Biomass and carbon accumulation in a fire chronosequence of a seasonally dry tropical forest. *Global Change Biology* 109-124 pp
- Xie, Y; Leschen, A. 2012. Waquoit Bay National Estuarine Research Reserve Greenhouse Gas Calculator for Land-holding Entities Instruction Manual. National Estuarine Research Reserve.

ANEXO: Bibliografía utilizada en la base de datos de almacén de carbono

No	Referencia
1	Jaramillo, V.J.; J. B. Kauffman, L. Rentería-Rodríguez; D. L. Cummings y L. J. Ellingson. 2003. Biomass, Carbon, and Nitrogen Pools in Mexican Tropical Dry Forest Landscapes. <i>Ecosystems</i> (2003) 6: 609-629
2	Casanova Lugo, F.; J. Caamal Maldonado; J. Petit Aldana; F. Solorio Sanchez y J. Castillo Caamal. 2010. Acumulación de carbono en la biomasa de <i>Leucaena leucocephala</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i> asociadas y en monocultivo. <i>Revista Forestal Venezolana</i> , Año XLIV, Volumen 54(1) enero -junio , 2010, pp. 45-50
3	Vianeí Czycza, R. 2009. Quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita com e sem queima da cana de açúcar. Tesis de Maestría de la Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de queiroz". pp 92.
4	Coutinho, H. L. C. y F. Balieiro. 2010. Land use change, biofuels and impacts on soil carbon dynamics in the La Plata Basin. Inter-American Institute for Global Change Research. Disponible en: http://www.iaii.int/files/science/programs/idrc/Final_report_IDRC_Coutinho.pdf
5	Coutinho, H.L.C. y F. Balieiro. 2010? Land use change, biofuels and impacts on soil carbon dynamics in the La Plata Basin. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brazil pp 24
6	Cabrera, J. A. y R. Zuaznábar. 2010. Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. I. Balance del carbono. <i>Cultivos Tropicales</i> (31):5-13
7	Etchevers, J.; M. Acosta; C. Monreal; K. Quednow y L. Jiménez. 2001. Los Stocks de Carbono en diferentes compartimientos de la parte aérea u subterránea en sistemas forestales y agrícolas de ladera en México. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México. pp 18
8	Acosta, M.; K. Quednow; J. Etchevers y C. Monreal. 2001. Un Método para la Medición del Carbono Almacenado en la Parte Área de Sistemas con Vegetación Natural e Inducida en Terrenos de Ladera en México. INIFAP Colegio de Postgraduados, México. pp 61
9	Vega- López, E. 2009. Importancia económica de las Áreas Naturales Protegidas como sumideros de carbono en México. pp 114-120
10	Mota C.; C. Alcaraz-López; M Iglesias, M.C. Martínez-Ballesta y Micaela Carvajal. 2009. Investigación sobre la absorción de CO ₂ por los cultivos más representativos de la región de Murcia. Departamento de Nutrición Vegetal CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Murcia, Spain. pp 41.
11	González Zárate, M. 2008. Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de <i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore, <i>Pinus oocarpa</i> var. <i>ochoteranai</i> Mtz. y <i>Quercus</i> sp. en el norte del Estado de Chiapas, México. Tesis en Manejo y Conservación de Bosques Naturales y Biodiversidad. pp 96.
12	Rodríguez Laguna, R; J. Jiménez Pérez, O.; A. Aguirre Calderón, E; J. Treviño Garza. 2006. Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. pp 10.
13	R. Rodríguez Laguna. 2007. Capacidad de Almacenamiento de Carbono en Tres Ecosistemas de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. Tesis de Doctorado. Subdirección de Postgrado. Facultad De Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. pp 109.
13 bis	Rodríguez-Laguna, R.; J. Jiménez-Pérez; J. Meza-Rangel; O. Aguirre-Calderón y R. Razo-Zarate. 2008. Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México. <i>Revista Latinoamericana de Recursos Naturales</i> , 4 (2):215 -222
14	J. Jaramillo, V.; Angelina Martínez-Yrizar; Luz Piedad Romero-Duque; J. Boone Kauffman & Felipe García-Oliva. 2005. Carbon Stocks in tropical forests of Mexico. Universidad Autónoma de México. pp 1.
15	Manzano, M. G.; J. Cantú Vega; F.J. Silva. Cavazos; J. Martínez Medina. 2009. Método Práctico para Estimación de Biomasa y Carbono Acumulado en poblaciones Naturales de Mezquite (<i>Prosopis Glandulosa</i>) en el Noreste de México. pp 10.

16	Alegre González, M.V.; R. Contreras Lee; Z. M. Saavedra Díaz. 2010. Cuantificación del Carbono Almacenado en la Vegetación del Suelo de Conservación del Distrito Federal. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. pp 32.
17	(la misma que la 16)
18	Moreno Cáliz, E.; A. Guerrero Peña; M.C. Gutiérrez Castorena; C.A. Ortiz Solorio y D. Palma López. 2002. Los Manglares de Tabasco, una Reserva Natural de Carbono. Madera y Bosques. 8. pp 115-128
19	Moreno May, G.J.; J. G. Cerón Bretón, R. M. Cerón Bretón; J. J. Guerra Santos, L. E. Amador del Ángel, E. Endañú Huerta. 2010. Estimación del Potencial de Captura de Carbono en Suelos de Manglar de Isla del Carmen. Uncar Tecnociencia. pp 17
20	Cerón-Bretón R.M.; J.G Cerón-Bretón.; R.C. Sánchez-Junco; D.L.Damián-Hernández; J.J.Guerra-Santos ; M. Muriel-García; and A.V. Cordova-Quiroz. 2011. Evaluation of carbon sequestration potential in mangrove forest at three estuarine sites in Campeche, Mexico. International Journal of Energy and Environment. pp 8.
21	Donato, D. C.; J. Boone Kauffman; D. Murdiyarso; S. Kurnianto; M. Stidham and M. Kanninen. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. Nature Geoscience. pp 5.
22	Boone Kauffman, J.; C. Heider; T. G. Cole; K. A. Dwire; D. C. Donato. 2011. Ecosystem Carbon Stocks of Micronesian Mangrove Forests. SWS. pp 10.
23	D. Callo-Concha, A.; I. Rajagopal B.; L. Krishnamurthy C. 2004. Secuestro de Carbono por Sistemas Agroforestales en Veracruz. Ciencia UANL(7):6 1-6.
No	Referencia
24	Rocha, A.V., M. L. Goulden. 2009. Why is marsh productivity so high? New insights from Eddy covariance and biomass measurements in a <i>Typha</i> marsh. Agricultural and Forest Meteorology. pp 159- 168.
25	Plasencia Fraga, J.M. y J. Kvet. 1993. Production Dynamics of <i>Typha domingensis</i> (Pers.) Kunth Populations in Cuba. J. Aquat. Plant Manage (31): 240-243.
26	Marín Muñiz, J.L.; M.E. Hernández Alarcón y P. Moreno-Casasola Barceló. 2011. Secuestro de Carbono en Suelos de Humedales Costeros de Agua Dulce en Veracruz. (13): 365-372.
27	Hernández, M. E. 2010. Suelos de Humedales como Sumideros de Carbono y Fuentes de Metano. Terra Latinoamericana. Redalyc. Sistema de Información Científica. Red de Revistas Científicas de América Latina, España y Portugal. (28): 139-147.
28	Palomino Contreras, D. 2007. Estimación del servicio ambiental de captura del CO ₂ en la flora de Los Humedales de Puerto Viejo. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales con mención en Control de la Contaminación y Ordenamiento Ambiental. Universidad Nacional mayor de San Marcos. pp 153
29	Martínez Bravo, R. D. y O. R. Maser C. 2003. La captura de carbono como servicio ecosistémico del Parque Ecológico Jaguarundi: Una estrategia para la conservación y manejo de los recursos forestales. Centro de Investigación en Ecosistemas, UNAM. pp 25.
30	A. B. Giese, L. 2001. Carbon Pools and Fluxes as an Indicator of Riparian Restoration. Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Forestry. Blacksburg, Virginia. pp 236.
31	Casanova-Lugo, F; J. Petit-Aldana y J. Solorio-Sánchez. 2011. Los Sistemas Agroforestales como Alternativa a la Captura de Carbono en el Trópico Mexicano. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. pp 133-143.
32	Es el mismo artículo incluido en 13
33	Hernández, I. ; E. Medina y D. López Hernández. 1995. Respiración Edáfica y Aportes de Materia Orgánica por Las Raíces y La Hojarasca en un Cultivo de Caña de Azúcar. Agronomía Trop. 45(1): 121-142
34	James M. Roshetko, Matt Delaney, Kurniatun Hairiah, and Pratiknyo Purnomosidhi. 2002. Carbon stocks in Indonesian homegarden systems: Can smallholder systems be targeted for increased carbon storage?
35	Bruce Augustin. 2012. Carbon Sequestration in Urban Ecosystems. Carbon Management and Sequestration Center The Ohio State University, OARDC. pp 379.
36	Bath, R.C. and Klemmedson, J.O. 2002. Amount and Distribution of Dry Matter, Nitrogen, and Organic carbon in Soil-Plant Systems of Mesquite and Palo Verde. Journal of Range management 35(4). pp 7
37	Vargas, R.; M. F. Allen and E.B. Allen. 2008. Biomass and carbon accumulation in a fire chronosequence of a seasonally dry tropical forest. Global Change Biology (14): 109-124
38	P Rowlinson, M Steele and A. Nefzaoui. 2008. Livestock and Global Climate Change. British Society of Animal Science. pp 230.
39	Soto-Pinto, L.; M. Anzueto; J. Mendoza; G. Jimenez Ferrer; Ben de Jong. 2010. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. Agroforest Syst (78): 39-51.
40	Ordoñez, J.A.B.; B.H.J. de Jong ; F. García-Oliva; F.L. Avía; J.V. Pérez; G. Guerrero; R. Martínez y O. Maser. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover

	classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. <i>Forest Ecology and Management</i> (255): 2074–2084.
41	José de Jesús Návar-Cháidez ¹ y Enrique Jurado-Ybarra ² . 2009. Productividad Foliar y Radicular en Ecosistemas Forestales del Noreste de México. <i>Rev. Ciencia Forestal en México</i> (34):18
42	Mara Lucia Rodrigues Costa ¹ and Raoul Henry. 2010. Phosphorus, nitrogen, and carbon contents of macrophytes in lakes lateral to a tropical river (Paranapanema River, São Paulo, Brazil). <i>Acta Limnologica Brasiliensia</i> . 2010. Vol. 22, no. 2:122-132
43	Court Stevenson, J. 1988. Comparative ecology of submersed grass beds in freshwater, estuarine, and marine environments. <i>Limnol. Oceanogr.</i> , 33(4, part 2), 1988, 867-893
44	Anderson, C. J. y W. J. Mitsch. 2006. Sediment, carbon, and nutrient accumulation at two 10-year-old created riverine marshes. <i>Wetlands</i> , Vol. 26, No. 3, September 2006: 779–792
45	Erich, E.; P. J. Drohan; L. R. Ellis; M. E. Collins; M. Payne y D. Surabian. 2010. Subaqueous soils: their genesis and importance in ecosystem management. 2010 The Authors. Journal compilation a 2010 British Society of Soil Science, Soil Use and Management. 8 pp.
46	Metanczuk Hartwig, L.C. 2008. The carbon dynamics of a prairie pothole wetland. Thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies of The University of Manitoba in partial fulfillment of the requirements of the degree of Master of Science. Department of Environment and Geography University of Manitoba. Winnipeg
47	Ohsowski, B.M. 2008. Annual secondary production of fungal and bacterial decomposers associated with standing and benthic litter of the freshwater emergent macrophyte, <i>Typha angustifolia</i> . Thesis Submitted to the Department of Biology Eastern Michigan University In partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Biology with a concentration in Ecology and Organismal Biology Masters Theses and Doctoral Dissertations. Paper 200. http://commons.emich.edu/theses/200

BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO IV: Aporte de agua

- Aburto, E. 2003. Valoración económica del servicio ambiental hidráulico de la micro-cuenca “Paso Los caballos” del Municipio de San Pedro de Potrero Grande, Departamento de Chinandega. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, InterCooperación, Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América central. EDISA. Managua, Nicaragua. 91 pp. Documento en Internet del Foro de PSA de la FAO. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/foro/psa/>
- Allen, R.G.; L.S. Pereira; D. Raes y M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage. Paper No. 56, FAO, Rome, Italy. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm#Contents>
- Acharya, G. 1998. Capturing the hidden values of wetland ecosystems as a mechanism for financing the wise use of wetlands. workshop on Mechanisms for Financing Wise Use of Wetlands. Dakar, Senegal. 13 November 1998. Disponible en: http://iwlearn.net/abt_iwlearn/events/workshops/ouagadougou/readingfiles/yale-wetlands-values.pdf
- Adame Garza, J.A. 2010. Efecto de una doble concentración de bióxido de carbono en la atmósfera sobre la disponibilidad de agua en la cuenca del río Guayalejo- Tamesí en el Estado de Tamaulipas, México. Ponencia del Taller de Fortalecimiento Académico y Empresarial en la Región Noreste. Reunión en la Región Noreste para el Intercambio de Conocimiento de los Sectores Académicos y Empresarial sobre el Tema de Cambio Climático. INE, Diálogo Académico-Empresarial hacia la 16ª edición de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP16). 12 y 13 de agosto de 2010 en Torreón, Coah. <http://www.ine.gob.mx/sa-cop-16-calendario/918-cop16-tr2>
- Adame Garza, J. y G. Sánchez Torres Esqueda. 2003. Efecto de una doble concentración de bióxido de carbono en la atmósfera sobre la disponibilidad de agua en la cuenca del río Guayalejo-Tamesí en el Estado de Tamaulipas, México. *Revista de Climatología*. Vol. 3 (2003): 27-44. Disponible en <http://www.aeclim.org/reclim03d.pdf>
- ANEAS, Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México. 2012. La ANEAS contribuye con el subsector a través del debate y planteamiento de soluciones: XXVI Convención Anual. Folleto disponible en: <http://www.aneas.com.mx/contenido/XXVIC.pdf>
- Ayala-Niño F.; I. Espejel; R. Eaton; W Daesslé. 2010. Propuesta de evaluación rápida para el pago de servicios ambientales hidrológicos en zonas áridas. *Investigación Ambiental* 3(2):18-30.
- Aylward, B. y S.S.Tognetti. 2002. Valuation of hydrological externalities of land use change: Lake Arenal case study, Costa Rica.FAO Land-water linkages in rural watersheds Case study series. Documento en Internet del Foro de PSA de la FAO. 19 pp. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/foro/psa/>
- Barzev, R. 2002. Valoración económica integral de los bienes y servicios ambientales de la Reserva del Hombre y la Biosfera de Río Plátano (borrador). Proyecto Manejo Reserva del Hombre y la Biosfera de Río Plátano. Corredor biológico mesoamericano (CBM). Disponible en <http://www.ibcperu.org/doc/isis/8251.pdf>

- Canadell, J.; R. B. Jackson; J.R. Ehleringer; H. Mooney; O.E. Sala y E.D. Schulze. 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia* (1996) 108:583-595.
- Céleri Alvear, R. 2009. Servicios ambientales para la conservación de los recursos hídricos: lecciones desde los Andes. Síntesis Regional CONDESAN 2008 Producto 1: Estado del conocimiento técnico científico sobre los servicios ambientales hidrológicos generados en los Andes. Disponible en http://www.infoandina.org/sites/default/files/recursos/Estado_Conocimiento_SAH.pdf
- CICC. 2009. México. Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. SEMARNAT-INE (Coordinadores) 274 pp.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. 2011a. Anexo de las Estadísticas del Agua 2011. Disponible en: <http://www.cna.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=87&n4=32>
- CONAGUA. 2011b??. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2011. Editor: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 96 pp. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/DSAPAS%20Edicion%202011.pdf>
- De Alba, E. y M.A. Reyes. 1998. Capítulo 7: Valoración económica de los recursos biológicos del país. EN CONABIO, 1998. La diversidad biológica de México: Estudio de País. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 341 pp.
- De Groot ; M. A. Wilson y R.M.J. Boumans. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41 (2002): 393-408
- EEM, Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. 2005. Informe de Síntesis (Borrador final). Un Informe de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Washington, D.C.: World Resources Institute, PNUMA. Documento en Internet. 43 pp.
- EFTEC, Economics for the Environment Consultancy Ltd. 2005. The Economic, Social and Ecological Value of ecosystem Services: A Literature Review. Final Report for the Department for Environment, Food and Rural Affairs. Disponible en <http://archive.defra.gov.uk/evidence/economics/foodfarm/reports/documents/Ecosys.pdf>
- Emerton, L. y Bos, E. 2004. Value. Counting Ecosystems as an Economic Part of Water Infrastructure. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 88 pp.
- EuC, European Communities. 2008. The Economics of Ecosystem and Biodiversity. An intern report. Welzeld+Hardt. Wesseling, Germany. 64 pp.
- FAO. 2000. México, Ficha Técnica on-line de FAO- WATER. Natural Resources Management and Environmental Department. Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/mexico/printesp1.stm
- Garrido, A.; J.L Pérez Damián y C. Enríquez Guadarrama. 2010. Capítulo Uno, parte tres. Delimitación de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México. EN Cotler Ávalos, H. (Ed.). 2010. **Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización.** Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. 232 pp. Disponible en: http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=639
- GETSLRT, Grupo Especializado de Trabajo del Sistema Lagunario del Río Tamesí. 2004. Programa de Manejo Integral del Sistema Lagunario del Río Tamesí. Gerencia Regional Golfo Norte y Gerencia de Planeación Hidráulica de la Comisión Nacional del Agua. Disponible en ftp://ftp.consejosdecuenca.org.mx/pub/downloads/CCRP/Planes/PMI_SLRT.pdf
- Godínez Garnica, R. 2007. Evaluación socioeconómica del saneamiento de aguas residuales de Morelia, Mich. Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Morelia
- Herrera Ordóñez, H. 2012. Reformas constitucionales y el reconocimiento del derecho humano al agua potable: implicaciones jurídicas y sociales. Implicaciones jurídicas en materia de justicia hídrica. IV Coloquio Jurídico Internacional del Agua de la Suprema Corte de Justicia de la Nación y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Octubre de 2012. México. Disponible en: http://www.atl.org.mx/coloquio/attachments/132_132_AGUA-REF-CONST-AG12.pdf
- Hori, C. 2005. Mapa en formato digital del balance hídrico de la cuenca Guayalejo-Tamesí. Cedido para este estudio por cortesía de la autora.
- INEGI, 2000. Conjunto Nacional de Datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250 000 Serie II (Digital).
- INEGI. 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. (<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>)
- IUCN (*International Union for Conservation of Nature*), The World Conservation Union, The Nature Conservancy y The World Bank. 2004. How much is an ecosystem worth? Assessing the economic value of conservation. The International Bank for Reconstruction and Development/ THE WORLD BANK. Washington, D.C. 33 pp.
- Lozano V., J.S. 2011. Impacto del cambio de coberturas en el rendimiento hídrico y la retención y producción de sedimentos en 5 subcuencas de la cuenca baja del Río Paute: análisis de escenarios utilizando el modelo InVEST. The Nature Conservancy. Documento on-line de Fundación Cordillera Tropical, disponible en: http://www.cordilleratropical.org/files/papers/2011_FCT_InVEST.pdf
- Mathis, M.; D. Matisoff y T. Pritchett. 2004. The Economic Value of Water for Ecosystem Preservation: Ecotourism in the Texas Lower Rio Grande Valley. Final Report to the Texas Coastal Management

- Program GLO contract no. 03-020. Hosuton Advanced Research Center, NOAA, Houston Endowment. 130 pp.
- Mendoza, G.; D. Ennaanay; M. Conte; M.T. Walter; D. Freyberg; S. Wonly; L. Hay; S. White; E. Nelson y L. Solórzano. 2011. Chapter 4. Water supply as an ecosystem service for hydropower and irrigation. EN Karevia, P.; H. Tallis; T.H. Ricketts; G.C. Daily y S. Polasky (Eds.). 2011. Natural Capital. Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services. Oxford University Press. Oxford. 365 pp.
- Mokondoko, P. y Manson, R. 2011. Valoración de los efectos de cambios en la cobertura vegetal sobre la calidad del agua y la salud pública en el centro de Veracruz, México. Memorias del II Congreso Internacional de los Servicios Ecosistémicos en los Neotrópicos: Estado del Arte y Desafíos Futuros. Asunción, Paraguay. 26 de Noviembre al 2 de Diciembre 2011. P. 69.
- Monroy Hernández, R.; R. Valdivia Alcalá; M. Sandoval Villa; J.E Rubiños Panta. 2011. Valoración económica del servicio ambiental hidrológico en una reserva de la biosfera. Terra Latinoamericana, vol. 29, núm. 3, julio-septiembre, 2011, pp. 315-323. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. Disponible en: <http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57321283010>
- Oyarzún, C.E.; L. Nahuelhual y D. Núñez. 2005. Los servicios ecosistémicos del bosque templado lluvioso: producción de agua y su valoración económica. Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA. 20(3) - 21(1): 88-95, Santiago de Chile, 2004-2005.
- Pareja, P. y J. Tapasco. 2011. Valoración económica del agua superficial para uso agrícola en el Valle de Cañete (Perú). Memorias del II Congreso Internacional de los Servicios Ecosistémicos en los Neotrópicos: Estado del Arte y Desafíos Futuros. Asunción, Paraguay. 26 de Noviembre al 2 de Diciembre 2011. P. 69.
- Porras, I.T. 2003. Valorando los Servicios Ambientales de Protección de Cuencas: consideraciones metodológicas. Presentado en el III Congreso Latinoamericano de Protección de Cuencas. Arequipa, 9-13 de junio de 2003. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/tierra/pdf/porras.pdf>.
- Reckhow, K. H.; M. N. Beaulac y J. T. Simpson. 1980. Modeling phosphorus loading and lake response under uncertainty. A manual and compilation of export coefficients. Clean Lakes Section. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, D.C. 214 pp.
- SAF, Secretaría de Agricultura y Fomento. 1940. ACUERDO que declara Zonas Protectoras Forestales los terrenos cubiertos de arbolado, situados en las Cuencas Hidrográficas de los Sistemas Nacionales de Riego en construcción y proyecto. Diario Oficial" de la federación, del Lunes 26 de agosto de 1940.
- SAEFL, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape; World Conservation Union (IUCN); The Secretariat of the Ramsar Convention on Wetlands y The UNECE secretariat. 2005. Water-related ecosystems for water management: environmental services and financing for the protection and sustainable use of ecosystems. Meeting of the parties to the Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes. Seminar on environmental services and financing for the protection and sustainable use of ecosystems. Geneva, 10-11 October 2005. Disponible en: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2005/wat/sem.5/mp.wat.sem.5.2005.4e.pdf>
- Sánchez Torres Esqueda, G.; J.E. Ospina Noreña, C. Conde Álvarez y A. Monterroso. 2008. Informe sobre Cambio climático y consideraciones para apoyar políticas de adaptación en los consejos de cuenca en México. Estudio de caso: Comisión de Cuenca del Río Guayalejo-Tamesí, del Consejo de Cuenca del Río Pánuco. INE y UNAM. 59 pp. Documento disponible en http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2008_ecc_inf_cuenca_guayalejo.pdf
- Saxton, K.E. 2005. SPAW, Soil-Plant-Air-Water. Field and Pond Hydrology. Versión 6.02.75. USDA Agricultural Research Service y Department of Biological Systems Engineering de Washington State University. Disponible en <http://hydrolab.arsusda.gov/SPAW/Index.htm>
- SecGob, Secretaría de Gobernación de la Federación. 2012. Decreto por el que se Declara reformado el párrafo quinto y se adiciona un párrafo sexto recorriéndose en su orden los subsecuentes, al artículo 4o. de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación. Primera Sección, p.5. Miércoles 8 de febrero de 2012
- SEMARNAT, 2010. REGLAS de Operación del Programa ProArbol 2011 de la Comisión Nacional Forestal. Diario Oficial de la Federación del Miércoles 29 de diciembre de 2010. Cuarta Sección.
- The World Bank. 2004. How much is an ecosystem worth? Assessing the economic value of conservation. The International Bank for Reconstruction and Development/ THE WORLD BANK. Washington, D.C. 33 pp.
- Tallis, H.T.; T. Ricketts; E. Nelson; D. Ennaanay; S. Wolny; N. Olwero; K. Vigerstol; D. Pennington; G. Mendoza; J. Aukema; J. Foster; J. Forrest; D. Cameron; E. Lonsdorf y C. Kennedy. 2010. INVEST 1.005 beta User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford. 162 pp.
- Tognetti, S.S.; G. Mendoza; B. Aylward; D. Southgate y L. García. 2004. Guía para el desarrollo de opciones de pago por servicios ambientales (PSA) de las cuencas hidrológicas. Realizado para el Departamento de

- Ambiente del Banco Mundial, con apoyo del *Bank-Netherlands Watershed Partnership Program*. Disponible en <http://www.ibcperu.org/doc/isis/mas/8296.pdf>
- Torres Rojo, J.M. y A. Guevara Sanginés. 2002. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta Ecológica*. No. 063: 40-59. Abril-junio. Instituto Nacional de Ecología. México.
- Trabucco, A. y Zomer, R.J. 2009. *Global Aridity Index (Global-Aridity) and Global Potential Evapo-Transpiration (Global-PET) Geospatial Database*. CGIAR Consortium for Spatial Information. Published online, available from the CGIAR-CSI GeoPortal Disponible en: <http://www.csi.cgiar.org/>
- UAT, Universidad Autónoma de Tamaulipas. 2001. Diagnóstico Ecológico del Estado de Tamaulipas. Documento inédito. Ciudad Victoria. México.
- UNECE, United Nations Economic Commission for Europe. 2005. Protecting water-related ecosystems for sustainable development. Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes. Disponible en: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/ecosystem/Brochure_final.pdf
- WWAP, World Water Assessment Programme. 2009. The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World. Paris: UNESCO, and London: Earthscan. 318 pp.
- Xiao, Y. 2007. Trophic Assessment in Chinese Coastal Systems. Mestrado em Gestão da Água e da Costa. Erasmus Mundus European Joint Master in Water and Coastal Management. Universidade do Algarve. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Faro, Portugal. 109pp.

BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO IV: Retención de nutrientes

- Ausseil, A.-G.E.; J.R. Dymond; M.U.F. Kirschbaum ; R.M. Andrew y R.L. Parfitt. 2013. Assessment of multiple ecosystem services in New Zealand at the catchment scale. *Environmental Modelling & Software* 43 (2013): 37-48
- Bai, Y.; Ch. Zhuang; Z. Ouyang; H. Zheng y B. Jiang. 2011. Spatial characteristics between biodiversity and ecosystem services in a human-dominated watershed. *Ecological Complexity* 8 (2011):177-183.
- Conte, M.N.; D. Ennaanay; G. Mendoza; M.T. Walter; S. Wolny; D. Freyberg; E. Nelson y L. Solorzano. 2011b. Chapter 6. Retention of Nutrients and Sediment by Vegetation. *EN* P. Kareiva, P.; H. Tallis; G. Daily; T. Ricketts y S. Polasky (Eds). 2011. *Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*. Oxford University Press. 365 pp.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. 2011a. Estadísticas del agua en México, edición 2011. Editado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, 2011.132 pp.
- CONAGUA. 2011b. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2011. Editado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, 2011. 96 pp.
- De Alba, E. y M.A. Reyes. 1998. Capítulo 7: Valoración económica de los recursos biológicos del país. *EN* CONABIO, 1998. *La diversidad biológica de México: Estudio de País*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 341 pp.
- Del Saz Salazar, S.; S. Francesc Hernández Sancho y R. Sala Garrido. 2012. Estimación del valor económico de la calidad del agua de un río mediante una doble aproximación: una aplicación de los principios económicos de la Directiva Marco del Agua. *Economía Agraria y Recursos Naturales*. Vol. 9, 1. (2009): 37-63
- EEM, Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. 2005. Informe de Síntesis (Borrador final). Un Informe de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Washington, D.C.: World Resources Institute, PNUMA. Documento en Internet. 43 pp.
- EEM. 2005b. Los ecosistemas y el bienestar humano: humedales y agua. Informe de síntesis. World Resources Institute, Washington, DC. 68 pp.
- EEM. SIN FECHA. Estamos gastando más de lo que poseemos. Capital natural y bienestar humano. Declaración del Consejo. Documento en internet. 24 pp.
- Emerton, L. y Bos, E. 2004. Value. Counting Ecosystems as an Economic Part of Water Infrastructure. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 88 pp.
- EuC, European Communities. 2008. The Economics of Ecosystem and Biodiversity. An intern report. Welzeld+Hardt. Wesseling, Germany. 64 pp.
- Foroughbakhch P., R.; A.E. Céspedes C; M.A. Alvarado V. y A. Núñez G., M. H. Badii. 2004. Aspectos ecológicos de los manglares y su potencial como fitorremediadores en el Golfo de México. *Ciencia UANL / Vol. VII, No. 2:203-208*. Abril-Junio 2004.
- Godínez Garnica, R. 2007. Evaluación socioeconómica del saneamiento de aguas residuales de Morelia, Mich. Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Morelia
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1990. *FAO-UNESCO Mapa Mundial de Suelos Leyenda Revisada*. Versión en español preparada por: Carballas, T.; Macías, F.;

- Díaz-Fierros, F.; Carballas, M. y Fernández, J. Santiago de Compostela (España), Sociedad Española de la Ciencia del Suelo.
- Porras, I.T. 2003. Valorando los Servicios Ambientales de Protección de Cuencas: consideraciones metodológicas. Presentado en el III Congreso Latinoamericano de Protección de Cuencas. Arequipa, 9-13 de junio de 2003 [<http://www.rlc.fao.org/es/tierra/pdf/porras.pdf>] 4-ene-2009.
- Rodríguez-Espinosa, P.F., R.M. Flores-Rangel; J.A. Montes De Oca-Valero; V. Mugica-Álvarez; E.Ortiz-Romero-Vargas y M. Navarrete-Lopez. 2009. Determinación de Ni, V y Cu contenidos en filtros PM10 en 8 municipios del Estado de Tamaulipas, México. *Biologist (Lima)*. Vol. 7 N° 1-2, Special Issue, Jan-Dec 2009.
- Rojas, R. 2002. Sistemas de Tratamiento de aguas residuales. Conferencia del Curso Internacional “gestión integral de tratamiento de aguas residuales”. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. 25 al 27 de septiembre de 2002. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/aquaresi.pdf>
- Sagoff, M. 2002. On the Value of Natural Ecosystems: The Catskills Parable. *Politics and the Life Sciences*. Marzo de 2002. Vol. 21, No. 1: 16-21.
- SARH. Subsecretaría de Agricultura y Operación. Dirección General de Conservación del Suelo y Agua. 1982. Integración de Unidades de Suelos del Estado de Tamaulipas. México, D. F.
- Sánchez-Torres Esqueda, G.; J. E. Ospina-Noreña; C. Gay-García y C. Conde. 2011. Vulnerability of water resources to climate change scenarios. Impacts on the irrigation districts in the Guayalejo-Tamesí river basin, Tamaulipas, México. *Atmósfera* 24(1): 141-155 (2011).
- SecGen-Tam. 2010 (a). Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas (Presupuesto de Egresos para el Ejercicio Fiscal 2011 de varios municipios). TOMO CXXXV. Número 146. Cd. Victoria, Tam., miércoles 8 de diciembre de 2010.
- SecGen-Tam. 2010 (b). Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas (Presupuesto de Egresos para el Ejercicio Fiscal 2011 de varios municipios). TOMO CXXX. Anexo al Número 154. Cd. Victoria, Tam., martes 28 de diciembre de 2010.
- SecGen-Tam. 2010 (c). Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas (Presupuesto de Egresos para el Ejercicio Fiscal 2011 de varios municipios). TOMO CXXXV. Extraordinario Número 7. Cd. Victoria, Tam., viernes 31 de diciembre de 2010.
- SEMARNAP, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación del lunes 6 de enero de 1997. Única sección. Disponible en: <http://www.dof.gob.mx/index.php?year=1997&month=01&day=06>
- SEMARNAT, 2005. *Compendio de Estadísticas Ambientales. Capítulo 7.2. Calidad del Agua*. Disponible en: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/07_agua/cap7_2.html#inicio
- Tallis, H.T.; T. Ricketts; E. Nelson; D. Ennaanay; S. Wolny; N. Olwero; K. Vigerstol; D. Pennington; G. Mendoza; J. Aukema; J. Foster; J. Forrest; D. Cameron; E. Lonsdorf y C. Kennedy. 2010. INVEST 1.005 beta User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford. 162 pp.
- UAT, Universidad Autónoma de Tamaulipas. 2001. Diagnóstico Ecológico del Estado de Tamaulipas. Documento inédito. Ciudad Victoria. México.
- UDWQ, Utah Division of Water Quality- Publicly Owned Treatment Works. 2010.UDWQ POTW Nutrient Removal Cost Impact Study: Analysis of Moab City Wastewater Treatment Plant. Technical Memorandum. Disponible en: http://www.waterquality.utah.gov/POTWnutrient/report/Hyrum_City.Final.TM.pdf

BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO IV: Paisaje

- Adamowicz, W.L.; R. Naidoo; E. Nelson; S. Polasky y J. Zhang. 2011. Chapter 11: Nature-based tourism and recreation. EN Karevia, P.; H. Tallis; T.H. Ricketts; G.C. Daily y S. Polasky (Eds.). 2011. *Natural Capital. Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*. Oxford University Press. Oxford. 365 pp.
- BBVA Bancomer, Fundación. 2012. Anuario de migración y remesas. México 2013. BBVA Research, BBVA Bancomer, CONAPO. 111pp. Disponible en: http://www.bbvaesearch.com/KETD/fbin/mult/1212_AnuarioMigracionMexico_2013_tcm346-363287.pdf
- Boyd, J. and Banzhaf, S. (2007): What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics* 63(2-3): 616-626
- Bustos Hernández, M. 2010. Desarrollo de un modelo integrado en un SIG para evaluar la idoneidad turística en función de las características ambientales del territorio. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 386--401.

- Cantú, J. C.; H. Gómez de Silva y M. E. Sánchez. 2011. El Dinero Vuela: El Valor Económico del Ecoturismo de Observación de Aves. Defenders of Wildlife. Washington. 56 pp.
- Chan, K.M.A.; J. Goldstein; T. Satterfield; N. Hannahs; K. Kikiloi; R. Naidoo; N. Vadeboncoeur y U. Woodside. 2011. Chapter 12: Cultural services and non-use values. EN Karevia, P.; H. Tallis; T.H. Ricketts; G.C. Daily y S. Polasky (Eds.). 2011. Natural Capital. Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services. Oxford University Press. Oxford. 365 pp.
- CICC, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. 2009. México. Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. SEMARNAT-INE (Coordinadores) 274 pp.
- CONAPO, Consejo Nacional de Población. 2012. Índices de intensidad migratoria México-Estados Unidos 2010. El estado de la migración. Primera edición. CONAPO-SEGOB. 246 pp. Disponible en: http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/intensidad_migratoria/pdf/Migracion_Mex_EU.pdf
- Daniel, T.C.; T.C. Brown; D.A. King; M.T. Richards y W.P. Stewart. 1989. Perceived Scenic Beauty and contingent valuation of forest campgrounds. Forest Science, Vol 35 (1):76-90. Society of American Foresters.
- De Alba, E. y M.A. Reyes. 2008. Capítulo 7: Valoración económica de los recursos biológicos del país. EN CONABIO, 1998. La diversidad biológica de México: Estudio de País. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 341 pp.
- De la Fuente, G.; J.A. Atauri y J.V. de Lucio. 2004a. El aprecio por el paisaje y su utilidad en la conservación de los paisajes de Chile Central. Ecosistemas 2004/2. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/540/54013209.pdf>
- De la Fuente de Val, G.; J. Atauri M.; J. de Lucio F. y H. Mühlhauser S. 2004b. Influencia de la heterogeneidad del paisaje en la calidad escénica: el caso precordillerano andino de la cuenca de Santiago. Revista de Geografía Norte Grande, 32:87-105 (2004).
- Flores Velásquez, P.; P. Martínez de Anguita; R. Romero Calcerrada; C. J. Novillo y M. A. Ruiz. 2008. Los sistemas de pago por servicios ambientales entre la adicionalidad y la subsidiariedad: aplicación a la belleza escénica en el pantano de San Juan, Madrid, España. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 2008 17(1), 39-53.
- García Romero, A.; K.I. Mendoza Robles; y L. Galicia Sarmiento. 2005. Valoración del paisaje en la selva baja caducifolia en la cuenca baja del río Papagayo (Guerrero), México. Investigaciones Geográficas, No. 056: 77-100. UNAM. México.
- GMx y BM, Gobierno de México y Banco Mundial. 1995. Estudio del subsector forestal y de conservación de los recursos. Cultura Ecológica, A.C. y Gestión Ambiental Mexicana. 129 pp. <http://148.206.53.231/bdcdrom/GAM06/GAMV15/root/docs/INF-017.PDF>
- González Berláñez, F. 1981. Ecología y paisaje. H. Blume. Madrid. EN Junta de Andalucía, Consejo del Medio Ambiente. 2003. Turismo rural y medio ambiente. Propuesta para una metodología de análisis. Unión Europea, Consejo del Medio Ambiente, Asociación Terra. 475 pp.
- Grêt-Regamey, A.; I.D. Bishop y P. Bebi. 2007. Predicting the scenic beauty value of mapped landscape changes in a mountainous region through the use of GIS. Environment and Planning B: Planning and Design 2007, (34):50-67.
- Grêt-Regamey, A.; A. Walz y P. Bebi. 2008. Valuing Ecosystem Services for Sustainable Landscape Planning in Alpine Regions. Mountain Research and Development, 28(2):156-165. 2008. International Mountain Society. Disponible en: <http://www.bioone.org/doi/full/10.1659/mrd.0951>
- Guerrero Rodríguez, R. 2010. Ecoturismo Mexicano: la promesa, la realidad y el futuro. Un análisis situacional mediante estudios de caso. Revista El Periplo Sustentable. 18:36-67. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Hawkings, K. 2003. Economic valuation of ecosystem services. Documento en internet de la Universidad de Minnesota. 42 pp.
- INEGI. 2009. Censos Económicos 2009. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce2009/>
- INEGI. 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. (<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>)
- INEGI. 2011. Perspectiva estadística de Tamaulipas. Diciembre 2011. INEGI, 92 PP.
- Junta de Andalucía, Consejo del Medio Ambiente. 2003. Turismo rural y medio ambiente. Propuesta para una metodología de análisis. Unión Europea, Consejo del Medio Ambiente, Asociación Terra. 475 pp. (analógico)
- Karevia, P.; H. Tallis; T.H. Ricketts; G.C. Daily y S. Polasky (Eds.). 2011. Natural Capital. Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services. Oxford University Press. Oxford. 365 pp.
- Kiss, A. 2004. Making biodiversity conservation a land use priority. EN: Getting Biodiversity Projects to Work: Towards More Effective Conservation and Development. T. McShane and M. Wells, eds. Columbia University Press, New York. 464 pp.

- Mathis, M.; D. Matisoff y T. Pritchett. 2004. The Economic Value of Water for Ecosystem Preservation: Ecotourism in the Texas Lower Rio Grande Valley. Final Report to the Texas Coastal Management Program GLO contract no. 03-020. Hosuton Advanced Research Center, NOAA, Houston Endowment. 130 pp.
- Medellín, S. (2005). "Avances y logros en Ecoturismo en la Reserva de la Biosfera El Cielo Tamaulipas", IV Foro Campesino sobre la Conservación y el Desarrollo Sostenible Tamaulipas México. EN Guerrero Rodríguez, R. 2010. Ecoturismo Mexicano: la promesa, la realidad y el futuro. Un análisis situacional mediante estudios de caso. Revista El Periplo Sustentable. 18:36-67. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Monita Cárdenas, J.J. 2010. Propuesta de los elementos del proceso de comunicación relativo al ecoturismo como estrategia de desarrollo regional para la Zona Semiárida de Tamaulipas: un estudio basado en la efectividad de la comunicación relativa al ecoturismo de Canadá y Costa Rica. Tesis de maestría en dirección empresarial con énfasis en Finanzas. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Octubre de 2010. 190 pp.
- Moran, D. 2005. The economic valuation of rural landscapes. AA211 study for SEERAD. Scottish Agricultural College. 29pp.
- Nogué, J. y P. Sala .2006. Prototipus de catàleg de paisatge. Bases conceptuales, metodològiques i procedimentals per elaborar els catàlegs de paisatge de Catalunya.Document de referència per als grups de treball (edició revisada). Observatori del Paisatge. Olot-Barcelona, mayo de 2006. 32 pp.
- Panagopoulos, I. 2009. Linking forestry, sustainability and aesthetics. Ecological Economics 68 (2009) 2485–2489
- Real, E.; C. Arce y J. M. Sabucedo. 2000. Classification of landscapes using quantitative and categorical data, and prediction of their scenic beauty in North-Western Spain. Journal of Environmental Psychology (2000) 20: 355-373
- Sánchez Crispín, A. y E. Propin Frejomil. 2005. Potencial regional del turismo en la zona metropolitana de Tampico, México. Cuadernos Geográficos, 37 (2005-2): 153-182.
- SecGen-Tam, Secretaría General del Gobierno del Estado de Tamaulipas. 1997. Acuerdo Gubernamental mediante el cual se decreta Área Natural Protegida clasificada como Monumento Natural a la zona denominada como Bernal de Horcasitas, que se localiza en el Municipio de González, Tamaulipas. Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas. TOMO CXXII. Anexo al Número 070. Cd. Victoria, Tam., sábado 30 de Agosto de 1997.
- SecGen-Tam. 2010 (a). Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas (Presupuesto de Egresos para el Ejercicio Fiscal 2011 de varios municipios). TOMO CXXXV. Número 146. Cd. Victoria, Tam., miércoles 8 de diciembre de 2010.
- SecGen-Tam. 2010 (b). Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas (Presupuesto de Egresos para el Ejercicio Fiscal 2011 de varios municipios). TOMO CXXX. Anexo al Número 154. Cd. Victoria, Tam., martes 28 de diciembre de 2010.
- SecGen-Tam. 2010 (c). Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas (Presupuesto de Egresos para el Ejercicio Fiscal 2011 de varios municipios). TOMO CXXXV. Extraordinario Número 7. Cd. Victoria, Tam., viernes 31 de diciembre de 2010.
- Swanwick, C. 2002. Landscape character assessment. Guidance for England and Scotland. Documento Para The Countryside Agency y Scottish Natural Heritage por el Department of Landscape- University of Sheffield y Land Use Consultants. 84 pp + Abstract + Topic papers.
- Tangerini, A. y N. Soudel. 2006. Bringing the Hedonic Price Method into Fashion when Valuing Landscape Quality. Working paper de l'Institut de Hautes Études en Administration Publique. Swiss Graduate School of Public Administration. Chaire de Finances publiques
- TCA y SNH, The Countryside Agency y Scottish Natural Heritage 2002. Making Sense of Place. Landscape character assessment. Guidance for England and Scotland. 84 pp.
- UAT, Universidad Autónoma de Tamaulipas. 2001. Diagnóstico Ecológico del Estado de Tamaulipas. Documento inédito. Ciudad Victoria. México
- Walker, S. 1995. Ecotourism Impact Awareness in "El Cielo Biosphere Reserve, Tamaulipas, Mexico". Texas State University, US, pp. 1-21. EN Guerrero Rodríguez, R. 2010. Ecoturismo Mexicano: la promesa, la realidad y el futuro. Un análisis situacional mediante estudios de caso. Revista El Periplo Sustentable. 18:36-67. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Walker, S. 1997. Ecotourism Demand and Supply in El Cielo Biosphere Reserve, Tamaulipas, Mexico. Thesis in Master of Applied Geography, Texas State University, US. EN Guerrero Rodríguez, R. 2010. Ecoturismo Mexicano: la promesa, la realidad y el futuro. Un análisis situacional mediante estudios de caso. Revista El Periplo Sustentable. 18:36-67. Universidad Autónoma del Estado de México.

Zoido Naranjo, F.; P. Riesco Chueca; J. Gómez Zotano; D. Álvarez Sala; I. García Vázquez; A. Ramírez Ramírez y M. Ortega Delgado. 2008. Marco conceptual y metodológico para la aplicación del Convenio Europeo del Paisaje. La situación del Paisaje en España. Líneas para la aplicación y desarrollo del Convenio Europeo del Paisaje. TOMO V/VI. Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural de España, Junta de Andalucía, Universidad de Sevilla. Págs 163-369.

BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO IV: Plantas medicinales

- Adame, J., y H. Adame. 2000. Plantas Curativas del Noreste Mexicano. Editorial Castillo, Monterrey, N.L. FUERA DE INV.
- Aguilar, A. 1998. Plantas Medicinales del Herbario IMSS: Su Distribución por Enfermedades, pp. 15-21. Roche Laboratories. México. EN: González-Stuart, A. E. 2010. Use of Medicinal Plants in Monterrey, Mexico. Not Sci Biol 2 (4) 2010, 07-11.
- Alvarado Vázquez, M.A.; A. Rocha Estrada; S. Moreno Limón (Eds). 2010. De la lechuguilla a las biopelículas vegetales. Las plantas útiles de Nuevo León. Universidad Autónoma de Nuevo León, Secretaría de Educación Pública. Monterrey. 657 pp.
- Argueta, A. 1994. Atlas de las Plantas Medicinales de México. Instituto Nacional Indigenista. México. EN: González-Stuart, A. E. 2010. Use of Medicinal Plants in Monterrey, Mexico. Not Sci Biol 2 (4) 2010, 07-11.
- Balick, M. J. 1994. Ethnobotany, drug development and biodiversity conservation exploring the linkages. Ethnobotany and the Search for New Drugs. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- Bodeker, G. 2005. Medicinal Plant Biodiversity & Local Healthcare: Sustainable Use & Livelihood Development. 17th Commonwealth Forestry Conference. 2005. Colombo, Sri Lanka. 14 pp.
- Cano, L.; M. Vázquez Torres; E. Jácome Castillo. 1997. Flora medicinal de Veracruz: Inventario etnobotánico. Universidad Veracruzana. 606 pp. FUERA DE INV.
- Cardenal, L. 1994. Basic Elements for a Strategy of Conservation of Useful Plants in the Caribbean Basin. Seminar-Workshop "Threatened Useful Plants on the Caribbean Basin", Santo Domingo, Dominican Republic. EN Lagos-Witte, S. 2005. Conservation of Medicinal Plants in Central America and the Caribbean. World Bank IK Notes, No. 93. From Biodiversity & Health: Focusing Research to Policy at the proceedings of the International Symposium, Ottawa, Canada, October 25-28, 2003, J.T. Amason, P.M. Catling, E. Small, P.T. Dang, and J.D.H. Lambert NRC eds., Research Press, Ottawa Ontario pp 21-24.
- Céspedes Cabriales, A.E. 1999. Tendencias en la dinámica poblacional y manejo de los manglares en la cuenca baja del Río Pánuco, límite tropical del Golfo de México. Tesis Doctoral en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. 162 pp + anexos.
- Chadwick, D.J. and Marsh, J. (1994). eds. *Ethnobotany and the Search for New Drugs*, CIBA Foundation Symposium 185, John Wiley and Sons, Chichester, UK, pgs. 280. FUERA DE INV.
- http://books.google.es/books?id=T_1BkC3-jLoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- De la Garza Sanmiguel, A.E. 2009. El uso de plantas medicinales en Matamoros, Tamaulipas y sus alrededores. Trabajo del Diplomado en Medicina Tradicional de México y sus Plantas Medicinales. Tlahui.com. 26 pp.
- FAO, 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Informe nacional. México. Departamento Forestal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 98 pp.
- GMx y BM, Gobierno de México y Banco Mundial. 1995. Estudio del subsector forestal y de conservación de los recursos. Cultura Ecológica, A.C. y Gestión Ambiental Mexicana. 129 pp.
- <http://148.206.53.231/bdcdrom/GAM06/GAMV15/root/docs/INF-017.PDF>
- González, M. 1998. Plantas Medicinales del Noreste de México. Instituto Mexicano del Seguro Social. Monterrey, N. L., GrupoVtro. 125 pp. FUERA DE INV.
- González-Stuart, A. E. 2010. Use of Medicinal Plants in Monterrey, Mexico. Not Sci Biol 2 (4) 2010, 07-11
- Guerra, A. En Prep. Conocimiento y evaluación de los recursos naturales etnobiológicos de las áreas de montaña de Tamaulipas (Estado de Tamaulipas, México), para su conservación, manejo y desarrollo de las comunidades rurales. Tesis de Investigación Doctoral.
- Hernández Sandoval, L.; C. González Romo; F. González Medrano. 1991. Plantas útiles de Tamaulipas, México. Anales Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. México, Ser. Bot. 62(1):1-38, 1991.
- Hoareau, L. y E.J. DaSilva. 1999. Medicinal plants: a re-emerging health aid. Electronic Journal of Biotechnology. Vol.2 (2):56-70. Issue of August 15, 1999. Chile.

- Kiss, A. 2004. Making biodiversity conservation a land use priority. EN: Getting Biodiversity Projects to Work: Towards More Effective Conservation and Development. T. McShane and M. Wells, eds. Columbia University Press, New York. 464 pp.
- Lagos-Witte, S. 2005. Conservation of Medicinal Plants in Central America and the Caribbean. World Bank IK Notes, No. 93. From Biodiversity & Health: Focusing Research to Policy at the proceedings of the International Symposium, Ottawa, Canada, October 25-28, 2003, J.T. Amason, P.M. Catling, E. Small, P.T. Dang, and J.D.H. Lambert NRC eds., Research Press, Ottawa Ontario pp 21-24.
- Lozoya, X. 1994. Two decades of Mexican ethnobotany and research on plant derived drugs. EN: Ethnobotany and the Search for New Drugs. Ciba Foundation Symposium 185. Wiley, New York.
- Mora-Olivo, A., J. L. Villaseñor, I. Luna-Vega y J. J. Morrone. 2008. Patrones de distribución de la flora vascular acuática estricta en el estado de Tamaulipas, México. Revista Mexicana de Biodiversidad. 79(2): 435-448.
- O'Mahony, S. 2010. Legal pitfalls in treating inflammatory bowel disease patients. Capítulo 49 de Targan, S.R.; F. Shanan y L. C. Karp (Eds). 2010. inflammatory bowel disease. Translating basic Science into clinical practice. Wiley-Blackwell. 752 pp. FUERA DE INV..
- Pearce, D. y S. Puroshothaman .1992. Protecting biological diversity: the economic value of pharmaceutical plants. Global Environmental Change discusion paper No. 92-27. Centre for Social and Economic Research on the Global Environment (CSERGE) y UK Economic and Social Research Council (ESRC). Londres. 16 pp.
- Ramírez Sosa, C.A. 2010?. Estructura y distribución espacial del palmar de *Sabal pumos* (Kunth) en los municipios de Ario y La Huacana, Michoacán, México. Tesis profesional de Biólogo. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 61 pp.
- Robinson, M.M. y X. Zhang. 2011. The world medicines situation 2011. Traditional medicines: global situation, issues and challenges. 3a. Ed. World Health Organization. Génova. 12 pp.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. Acta Botánica Mexicana 14:3-21.
- Toledo, A. 1998. Economía de la biodiversidad. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 209 pp. Disponible en <http://www.ambiente.gov.ar/infoteca/ea/descargas/toledo02.pdf>

BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO IV: Modelo integrado

- Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coordinadores). 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Tlistado.html>
- BM-GMx, Banco Mundial y Gobierno de México. 1995. Estudio de Revisión del Sector Forestal y Conservación de Recursos. Cultura Ecológica, A.C. Gestión Ambiental Mexicana. 129 pp. Disponible en <http://148.206.53.231/bdcdrom/GAM06/GAMV15/root/docs/INF-017.PDF>
- Cervini Iturre, H. 1995?. El Costo de Oportunidad de los Fondos Públicos y la Tasa Social De Descuento. Academia Mexicana de Profesionistas en Evaluación Socioeconómica de Proyectos, A.C.. Disponible en <http://www.ampres.com.mx/pdf/Tasa%20Social%20de%20Descuento.pdf>
- Conte, M.N., E. Nelson, K. Carney, C. Fissore, N. Olwero, A.J. Plantinga, B. Stanley y T. Ricketts. 2011a. Chapter 7. Terrestrial Carbon Sequestration and Storage. EN P. Kareiva, P.; H. Tallis; G. Daily; T. Ricketts y S. Polasky (Eds). 2011. Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services. Oxford University Press. 365 pp.
- Conte, M.N.; D. Ennaanay; G. Mendoza; M.T. Walter; S. Wolny; D. Freyberg; E. Nelson y L. Solorzano. 2011b. Chapter 6. Retention of Nutrients and Sediment by Vegetation. EN P. Kareiva, P.; H. Tallis; G. Daily; T. Ricketts y S. Polasky (Eds). 2011. Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services. Oxford University Press. 365 pp
- Costanza, R; R. d'Arge; R. de Groot; S. Farber; M. Grasso; B. Hannon; K. Limburg; S. Naeem; R.V. O'Neill; J. Paruelo; R. G. Raskin; P. Suttonk y M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, Vol. 387 (253-260)..
- Emerton, L. y Bos, E. 2004. Value. Counting Ecosystems as an Economic Part of Water Infrastructure. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 88 pp.
- Graf Montero, S. 2011. El pago por servicios ambientales como instrumento de conservación. Conferencia Magistral del *Los Pagos por Servicios Ambientales, Mecanismos para la Gobernanza de los Recursos Naturales*. Ixtapan de la Sal, México. 3 al 5 de agosto de 2011. Disponible en http://qacontent.edomex.gob.mx/congresopsa/documentos/conferencias_magistrales/index.htm

- Guerra, A. En Prep. Conocimiento y evaluación de los recursos naturales etnobiológicos de las áreas de montaña de Tamaulipas (Estado de Tamaulipas, México), para su conservación, manejo y desarrollo de las comunidades rurales. Tesis de Investigación Doctoral.
- Hawkings, K. 2003. Economic valuation of ecosystem services. Documento en internet de la Universidad de Minnesota. 42 pp. Disponible en http://www.frc.state.mn.us/documents/council/landscape/SE%20Landscape/MFRC_Economic_Valuation_EcosystemServices_SE_2003-10-01_Report.pdf
- INEGI. 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>
- IUCN (*International Union for Conservation of Nature*), The World Conservation Union, The Nature Conservancy y The World Bank. 2004. How much is an ecosystem worth? Assessing the economic value of conservation. The International Bank for Reconstruction and Development/THE WORLD BANK. Washington, D.C. 33 pp.
- Martínez-Ávalos, J. G. y Jurado. 2005. Geographic distribution and conservation of Cactaceae from Tamaulipas, Mexico. *Biodiversity & Conservation* 14:2483-2506.
- Mendoza, G., D. Ennaanay, M.N. Conte, M.T. Walter; D. Freyberg; S. Wolny; L. Hay; S. White; E. Nelson y L. Solorzano. 2011. Chapter 4. Water Supply as an ecosystem service for Hydropower and Irrigation. EN P. Kareiva, P.; H. Tallis; G. Daily; T. Ricketts y S. Polasky (Eds). 2011. *Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*. Oxford University Press. 365 pp.
- Moran, D. 2005. The economic valuation of rural landscapes. AA211 study for SEERAD. Scottish Agricultural College. 29pp.
- MPCR-ONU, Misión permanente de Costa Rica ante las Naciones Unidas. Sin fecha. ¿qué son los Servicios Ambientales? . Documentación sobre medio ambiente. Disponible en <http://www2.un.int/Countries/CostaRica/1097633323.pdf>
- Muñoz-Piña, C; M. Rivera; A. Cisneros y H. García .2011. Retos de la focalización del Programa de Pago por los Servicios Ambientales en México. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 228: 87-113. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.
- Nelson, E; D.R. Cameron; J. Regetz, S. Polasky y G.C. Daily. 2011. Chapter 13. Terrestrial Biodiversit. EN P. Kareiva, P.; H. Tallis; G. Daily; T. Ricketts y S. Polasky (Eds). 2011. *Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*. Oxford University Press. 365 pp.
- OEA, Organización de los Estados Americanos. 2005. Pagos por Servicios Ambientales. Preparado por el Departamento de Desarrollo Sostenible-OEA, para el Taller de Expertos Sobre el Apoyo al Desarrollo Sostenible a Través de la Agricultura, la Silvicultura y el Turismo. 2 de noviembre de 2005. San José, Costa Rica. 4-ene-2009.
- Porras, I.T. 2003. Valorando los Servicios Ambientales de Protección de Cuencas: consideraciones metodológicas. Presentado en el III Congreso Latinoamericano de Protección de Cuencas. Arequipa, 9-13 de junio de 2003 Disponible en <http://www.rlc.fao.org/es/tierra/pdf/porras.pdf>.
- Requena-Lara, G. N. 2008. Propuesta de Ordenación de los Recursos Naturales en la Cuenca Guayalejo-Tamesí (Tamaulipas, México). Tesina/trabajo de Fin de Máster. Universidad de Sevilla, España. 94 pp.
- Requena-Lara, G. N. En Prep. El Servicio Ambiental de contribución a la salud humana por cercanía a ecosistemas saludables de la Cuenca Guayalejo-Tamesí (Tamaulipas, México).
- Requena-Lara, G. N. En Prep. Contribución a la economía local y regional por presencia de especies polinizadoras, parte de la biodiversidad de la Cuenca Guayalejo-Tamesí (Tamaulipas, México)
- SHCP, Secretaría de Hacienda y Crédito Público. 2012. Lineamientos que establecen las disposiciones para determinar la rentabilidad social, así como la conveniencia de llevar a cabo un proyecto mediante un esquema de asociación público-privada. Diario Oficial de la Federación del Jueves 22 de Noviembre de 2012. Disponible en http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5278655&fecha=22/11/2012

BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO V: Ordenamiento

- Bodeker, G. 2005. Medicinal Plant Biodiversity & Local Healthcare: Sustainable Use & Livelihood Development. Documento del 17th Commonwealth Forestry Conference. 2005. Colombo, Sri Lanka. Disponible en <http://www.cfc2010.org/2005/CFC%20pdfs/G%20Bodeker%20paper.pdf>
- B.O.E., Boletín Oficial del Estado. 2007. Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. B.O.E. No. 299 del viernes 14 de diciembre de 2007. Madrid.
- Balick, M.J. y H. O'Brien. 2004. Ethnobotanical and Floristic Research in Belize: Accomplishments, Challenges and Lessons Learned. *Ethnobotany Research & Applications*. 2:077-088 (2004).
- Cámara Artigas, R. y F. Díaz del Olmo. 2004. Directrices de gestión para la conservación y desarrollo integral de un humedal centroamericano. Golfo de Montijo (litoral del Pacífico, Panamá). Cooperación

- Española, Embajada de España en Panamá, Instituto de Economía y Finanzas e Panamá, Autoridad Nacional del Medio Ambiente de Panamá. Universidad de Sevilla. 299 pp.
- Cantú Ayala, C. 2005. Determinación de los sitios prioritarios para el establecimiento de áreas naturales protegidas en Tamaulipas, a través de la Metodología de Omisiones de Conservación (GAP). Proyecto CONACYT TAMP-2002-CO1-3324, a través del Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica de la Universidad Autónoma de Nuevo León.
- CICC, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. 2007. Estrategia Nacional de Cambio Climático. México. Síntesis Ejecutiva. SEMARNAT-INE. 16 pp.
- CICC. 2009. México. Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. SEMARNAT-INE (Coordinadores) 274 pp.
- Conte, M.N., E. Nelson, K. Carney, C. Fissore, N. Olwero, A.J. Plantinga, B. Stanley y T. Ricketts. 2011a. Terrestrial Carbon Sequestration and Storage. *EN Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*, editado por P. Kareiva, H. Tallis, G. Daily, T. Ricketts y S. Polasky. Oxford University Press.
- Conte, M.N.; D. Ennaanay; G. Mendoza; M.T. Walter; S. Wolny; D. Freyberg; E. Nelson y L. Solorzano. 2011b. Retention of Nutrients and Sediment by Vegetation. *EN Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*, editado por P. Kareiva, H. Tallis, G. Daily, T. Ricketts y S. Polasky. Oxford University Press.
- Del Saz Salazar, S.; S. Francesc Hernández Sancho y R. Sala Garrido. 2012. Estimación del valor económico de la calidad del agua de un río mediante una doble aproximación: una aplicación de los principios económicos de la Directiva Marco del Agua. *Economía Agraria y Recursos Naturales*. Vol. 9, 1. (2009): 37-63
- Flores Velásquez, P.; P. Martínez de Anguita; R. Romero Calcerrada; C. J. Novillo y M. A. Ruiz. 2008. Los sistemas de pago por servicios ambientales entre la adicionalidad y la subsidiariedad: aplicación a la belleza escénica en el pantano de San Juan, Madrid, España. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 17(1), 39-53.
- Heinrich, M. 2003. Ethnobotany and Natural Products: The Search for New Molecules, New Treatments of Old Diseases or a Better Understanding of Indigenous Cultures?. *Current Topics in Medicinal Chemistry* 2003, 3, 29-42
- Grêt-Regamey, A.; A. Walz y P. Bebi. 2008. Valuing Ecosystem Services for Sustainable Landscape Planning in Alpine Regions. *Mountain Research and Development*, 28(2):156-165. 2008. International Mountain Society Disponible en: <http://www.bioone.org/doi/full/10.1659/mrd.0951>
- Hawkings, K. 2003. Economic valuation of ecosystem services. Documento en internet de la Universidad de Minnesota. 42 pp. Disponible en http://www.frc.state.mn.us/documents/council/landscape/SE%20Landscape/MFRC_Economic_Valuation_EcosystemServices_SE_2003-10-01_Report.pdf
- Herrera Izaguirre, J.A.; F. Hernández Contreras; O. Flores Rosales y J.F. Isaac García. 2008. Agenda Olvidada: La Protección de la Diversidad Biológica en la Frontera México Estados Unidos. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*. Una revista académica. Vol 1, N° 1 (febrero 2008). Disponible en www.eumed.net/rev/delos/01/
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón.
- IUCN (*International Union for Conservation of Nature*), The World Conservation Union, The Nature Conservancy y The World Bank. 2004. How much is an ecosystem worth? Assessing the economic value of conservation. The International Bank for Reconstruction and Development/THE WORLD BANK. Washington, D.C. 33 pp.
- Jackson, R.B; J.T. Randerson; J.G. Canadell; R.G. Anderson; R. Avissar; D.D. Baldocchi; G.B. Bonan; K. Caldeira; N.S. Diffenbaugh; C.B. Field; B.A. Hungate; E.G. Jobb'agy; L.M. Kueppers; M.D. Noss et al. 2008. Protecting climate with forests. *Environmental Research Letters*, 3 (2008) 044006 (5pp)
- Kiss, A. 2004. Making biodiversity conservation a land use priority. In: *Getting Biodiversity Projects to Work: Towards More Effective Conservation and Development*. T. McShane and M. Wells, eds. Columbia University Press, New York. 464 pp.
- Mendoza, G., D. Ennaanay, M.N. Conte, M.T. Walter; D. Freyberg; S. Wolny; L. Hay; S. White; E. Nelson y L. Solorzano. 2011. Water Supply as an ecosystem service for Hydropower and Irrigation. *EN Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*, editado por P. Kareiva, H. Tallis, G. Daily, T. Ricketts y S. Polasky. Oxford University Press.
- Mokondoko, P. y Manson, R. 2012. Valoración de los efectos de cambios en la cobertura vegetal sobre la calidad del agua y la salud pública en el centro de Veracruz, México. *Memorias del II Congreso*

- Internacional de los Servicios Ecosistémicos en los Neotrópicos: Estado del Arte y Desafíos Futuros. Asunción, Paraguay. 26 de Noviembre al 2 de Diciembre 2011.
- MPCR-ONU, Misión permanente de Costa Rica ante las Naciones Unidas. Sin fecha. ¿qué son los Servicios Ambientales? . Documentación sobre medio ambiente. Disponible en <http://www2.un.int/Countries/CostaRica/1097633323.pdf>
- Muñoz-Piña, C; M. Rivera; A. Cisneros y H. García .2011. Retos de la focalización del Programa de Pago por los Servicios Ambientales en México. Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros, 228: 87-113. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.
- OEA, Organización de los Estados Americanos. 2005. Pagos por Servicios Ambientales. Preparado por el Departamento de Desarrollo Sostenible-OEA, para el Taller de Expertos Sobre el Apoyo al Desarrollo Sostenible a Través de la Agricultura, la Silvicultura y el Turismo. 2 de noviembre de 2005. San José, Costa Rica.
- OEIDRUS, Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable. 2011. Recursos forestales: ESTADÍSTICAS DE INCENDIOS FORESTALES 2011. REPORTE AL: 03 DE JUNIO DE 2011. Gobierno de Tamaulipas y SAGARPA. Disponible en: http://www.campotamaulipas.gob.mx/oeidrus/pdfs/avance_semanal/incendios_2011.pdf
- Oyarzún, C.E.; L. Nahuelhual y D. Núñez. 2005. Los servicios ecosistémicos del bosque templado lluvioso: producción de agua y su valoración económica. Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA. 20(3) - 21(1): 88-95, Santiago de Chile, 2004-2005.
- Parkes, M.W.; K.E. Morrison; M.J. Bunch y H.D. Venema. 2008. Ecohealth and Watersheds: Ecosystem Approaches to Re-integrate Water Resources Management with Health and Well-being. Network for Ecosystem Sustainability and Health (Publication Series No. 2) and the International Institute for Sustainable Development, Winnipeg, MB. Disponible en http://www.iisd.org/pdf/2008/ecohealth_watersheds.pdf
- Porras, I.T. 2003. Valorando los Servicios Ambientales de Protección de Cuencas: consideraciones metodológicas. Presentado en el III Congreso Latinoamericano de Protección de Cuencas. Arequipa, 9-13 de junio de 2003 [<http://www.rlc.fao.org/es/tierra/pdf/porras.pdf>.] 4-ene-2009.
- Ray, R.; D. Ganguly; C. Chowdhury; M. Dey; S. Das; M.K. Dutta; S.K. Mandal; N. Majumder; T.K. De; S.K. Mukhopadhyay y T.K. Jana. Carbon sequestration and annual increase of carbon stock in a mangrove forest. Atmospheric Environment. Volume 45, Issue 28, September 2011, Pages 5016-5024.
- Requena-Lara, Glenda N. 2007. Diagnóstico Ecológico de la Cuenca Guayalejo-Tamesí con Base en Sistemas de Información Geoespacial. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Ciudad Victoria, Tamaulipas. México. 267 pp.
- Requena-Lara, G. N. 2008. Propuesta de Ordenación de los Recursos Naturales en la Cuenca Guayalejo-Tamesí (Tamaulipas, México). Tesina/trabajo de Fin de Máster. Universidad de Sevilla, España. 94 pp.
- R. Rodríguez Laguna. 2007. Capacidad de Almacenamiento de Carbono en Tres Ecosistemas de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. Tesis de Doctorado. Subdirección de Postgrado. Facultad De Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León.pp 109.
- Sánchez Torres Esqueda, G.; J.E. Ospina Noreña, C. Conde Álvarez y A. Monterroso. 2008. Informe sobre Cambio climático y consideraciones para apoyar políticas de adaptación en los consejos de cuenca en México. Estudio de caso: Comisión de Cuenca del Río Guayalejo-Tamesí, del Consejo de Cuenca del Río Pánuco. INE y UNAM. 59 pp. Documento disponible en http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2008_ecc_inf_cuenca_guayalejo.pdf
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación del Jueves 30 de diciembre de 2010. Segunda Sección. 78 pp.
- SEMARNAT, 2012. Decreto por el que se expide la Ley General de Cambio Climático. Diario Oficial de la Federación del Miércoles 6 de junio de 2012. Segunda Sección: 1-29.
- UNECE, United Nations Economic Commission for Europe. 2005. Protecting water-related ecosystems for sustainable development. Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes. Disponible en: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/ecosystem/Brochure_final.pdf

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL



El Cañón de la Servilleta, del río Comandante. Límite municipal de El Mante y Ocampo

“Not all that is very useful commands high value (water, for example) and not everything that has a high value is very useful (such as a diamond).” (Adam Smith, 1776)

I.1. MARCO CONCEPTUAL

I.1.1. El paradigma del Capital Natural y la función del ecosistema.

A mediados del siglo pasado, la humanidad comenzó a reconocer lo indispensable que son los ecosistemas para su sobrevivencia, a través de trabajos como los de Osborn (1948) Leopold (1949) y Sears (1946) (citados por Harold y Ehrlich, 1997); estos autores destacaron la importancia de pérdida de elementos naturales y sus efectos en la sociedad. Las primeras ideas acerca cuál es la función de la naturaleza con relación a su utilidad para las actividades humanas llegaron hacia los años sesenta y principios de los setenta (a través los trabajos citados por Harold y Ehrlich, 1997: de King, 1966; Helliwell, 1969; Hunting, 1970; Odum y Odum, 1972; etc.).

A partir de esos trabajos, la explicación de esa funcionalidad (entendida como el papel de la naturaleza en el sostenimiento de la vida humana), ha sido analizada en diferentes contextos, ya sea como las funciones internas del ecosistema, o bien como los beneficios que obtiene la humanidad por sus propiedades y procesos. No obstante, dentro del contexto socioeconómico, resulta más conveniente considerar dichas funciones como un subconjunto de los procesos y estructuras ecológicas (De Groot, *et. al.*, 2002); para ello, De Groot (1992), distingue la función de un ecosistema como “la capacidad de los procesos y componentes naturales para proveer los bienes y servicios que satisfacen, directa o indirectamente, las necesidades humanas”.

Las funciones de los ecosistemas para los humanos pueden dividirse en cuatro aspectos genéricos: funciones de regulación, de hábitat, de producción y de información (De Groot, *et. al.*, 2000). Las dos primeras son esenciales para las circunstancias adecuadas de componentes y procesos del ecosistema, por lo que condicionan la disponibilidad de las otras dos. El conocimiento de estos aspectos proporciona una base para evaluar y analizar la naturaleza y magnitud del valor que tienen para el uso humano por los bienes y servicios que le proveen; por lo tanto, el concepto de bienes y servicios ambientales es inherentemente antropogénico (De Groot, *et. al.*, 2002).

En 1948, Vogt (citado por Harold y Erlich, 1997) argumentó que, usando su “capital real de recursos naturales”, Estados Unidos estaba reduciendo la posibilidad de sacar adelante sus deudas; aunque básicamente se refería al suelo como recurso, con esta moción fue el pionero en establecer el concepto de “capital natural”. En este mismo contexto, en 1992 Costanza y Daly señalaron que si la sociedad cuenta con “capital”, significa que posee una provisión (*stock*) de alguna cosa que es capaz de producir “un flujo de bienes y servicios valiosos en el futuro”.

Por lo tanto, si este *stock* es de origen natural (la definición no lleva intrínseco su condición artificial o natural), entonces puede hablarse de “Capital Natural” (CN), en el sentido de que los ecosistemas se apegan a la función como un “*stock* que produce un flujo”; además, puede producir más capital natural en un futuro, tanto en bienes (madera, peces), como en servicios (captura de carbono, reciclaje de material de desecho), que pueden contabilizarse como “ingresos naturales”. En dichos ingresos también debería incluirse la estructura y la diversidad del ecosistema, porque de ellos depende el funcionamiento y el flujo de sus bienes y servicios (Costanza y Daly, 1992).

Costanza y Daly, (1992) sostienen que existen algunas diferencias entre los dos grandes tipos de CN: el renovable (o activo), se auto-mantiene usando la energía solar, y pueden dar productos si se extraen (madera) o servicios si se mantienen en su sitio (control de erosión); son análogos a la maquinaria, sujetos de depreciación. Por su parte, el no renovable (inactivo), es más pasivo y no presta sus servicios hasta que es extraído (como los depósitos minerales o el combustible fósil; son análogos a los inventarios, que según El Serafy (1989, citado por Costanza y Daly, 1992), producen los bienes al irse consumiendo.

Estos mismos autores sostienen que el CN, en conjunto con el manufacturado y el humano (en los que incluyen, además de la presencia física humana, factores como la educación, el conocimiento, la cultura, etc.), corresponden “burdamente” a los factores tradicionales de la producción: terreno, trabajo y capital.

Gracias al desmesurado incremento de las actividades humanas, el CN se ha convertido en un factor limitante del desarrollo económico. Antigualmente, la limitación era el capital humano y el manufacturado, pues el CN era un bien *gratuito*. Por lo tanto, Costanza y Daly (1992) afirman que “las actividades humanas pueden reducir significativamente la capacidad del CN para redituar el flujo de bienes y *servicios ecosistémicos* y el CN no renovable sobre el que depende la productividad misma del capital humano”. Estos autores puntualizan que, en la discusión de desarrollo sostenible, se debe contemplar, además, que la sola medición del CN total ha resultado bastante problemática, la utilidad que genera en su totalidad es imposible de medir. Por ello es imprescindible comprender que cualquier legado a las generaciones futuras puede ser sólo del capital, y no de la utilidad. La sociedad actual - para bien o para mal- no está capacitada para garantizar el uso que sus descendientes hagan del capital que les se les herede.

De acuerdo con las anteriores mociones, uno de los mensajes clave de la EEM (2005), es que la humanidad depende de su CN y de los servicios que otorga para una vida “decorosa, saludable y segura”. No obstante, en el intento de satisfacer las demandas crecientes de la población, en las últimas décadas se han hecho cambios sobre diversos elementos de la naturaleza. Si bien, con ello se han mejorado las vidas humanas, con las prácticas industriales se ha debilitado la capacidad natural para producir los beneficios esperados de los ecosistemas, aumentando las presiones globales sobre ellos hasta que “cambien las actitudes y acciones humanas”. La pérdida consecuente de servicios y beneficios naturales obstruye los objetivos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) que buscan reducir la pobreza, el hambre y las enfermedades. Aunque actualmente es posible reducir este impacto, esto no será posible “mientras se perciba a los *servicios de los ecosistemas* como gratuitos e ilimitados, y su valor total no sea tomado en consideración”.

Dentro de este marco se plantea que, tanto los gobiernos como los ciudadanos del mundo deben hacer propio el llamado “*Paradigma de los Servicios Ambientales*”; éste consiste en tomar conciencia de que su bienestar, prosperidad y seguridad dependen de la salud de los ecosistemas, por lo que deben cambiar su comportamiento actual hacia

prácticas ecológicamente más sostenibles, así como incluir el valor del capital natural dentro de sus políticas, gestiones y negocios.

I.1.2. Conceptos de SSAA

El término de *Servicios Ambientales*, fue acuñado hacia 1970 en el informe del Impacto Humano sobre el Medioambiente Global (SCEP, 1970, citado por Mooney y Ehrlich, 1997). Ha sido planteado y discutido por diversos autores (Costanza y Faber, 2002; SEMARNAT y HyN, 2004; EEM, 2005; LGVS, 2006; Boyd y Banzhaf, 2007; TEEB, 2008; Fisher, et. al., 2009; Haines-Young y Potschin, 2010), basados generalmente en el libro “*Nature's services. Social dependence on natural ecosystems*” de Daily (1997).

Cabe mencionar que, aunque en el idioma inglés se han usado diferentes palabras, la terminología de “*ecosystem services*” (Daily, 1997) se ha estandarizado en la literatura científica. No ha sido así en su contraparte castellana, ya que se usan de forma indistinta los términos “servicios ecosistémicos”, “servicios de los ecosistemas”, “servicios ambientales”, entre otros. En un contexto dirigido a todo público, una búsqueda en el motor de Google (Cuadro I.1.2-1) arroja 2'730,000 registros de entradas para los términos en inglés (“*ecosystem services*” y “*ecological services*”) y 2'215,700 para los términos en español (“servicios ambientales”, “servicios de los ecosistemas”, “servicios ecológicos”, “servicios ecosistémicos”).

Cuadro I.1.2-1. Registros de entradas en google.com.mx para los términos más comunes usados como sinónimos de SSAA (junio de 2011).

Término	Total	libros	noticias
“ <i>ecosystem services</i> ”	1,530,000	44,700	243
“ <i>ecological services</i> ”	1,200,000		42
"servicios ambientales"	1,090,000	16,000	187
"servicios de los ecosistemas"	688,000		4
"servicios ecológicos"	378,000		8
"servicios ecosistémicos"	59,700		13

Fuente: elaboración propia con datos de google.com.mx®

Aunque el país de Costa Rica fue pionero en mencionar la “definición” de los SSAA (dentro de su Ley Forestal de 1996, Artículo Tercero, inciso K), el texto no es propiamente una definición, ya que sólo se refiere a ellos como “los que brindan el bosque y las plantaciones forestales y que inciden directamente en la protección y el mejoramiento del medio ambiente”; posteriormente enumera los cuatro SSAA básicos sobre los que tradicionalmente se desarrollan las estrategias de pago: mitigación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), protección del agua, protección de la biodiversidad y protección de ecosistemas y su belleza escénica (LFor-CR, 1996).

Daily (1997) es entonces la primera autora en implementar una definición como tal de los SSAA, refiriéndose a ellos como “*las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales y sus especies que originan, sostienen y satisfacen la vida humana. Mantienen la biodiversidad y la producción de bienes ecosistémicos tales como alimentos marinos, forraje, madera, biocombustibles, fibras naturales y muchos productos de la industria farmacéutica y sus precursores. La cosecha y comercio de estos bienes representa una parte familiar e importante de la economía humana. En*

adición a la producción de bienes, los servicios de los ecosistemas son el soporte de las funciones de la vida actual, tales como la limpia, reciclaje y renovación, y ellos confieren muchos beneficios intangibles, estéticos y culturales también”.

En 1998, Costa Rica introduce el concepto dentro de su estructura gubernamental, al publicar que “un servicio ambiental puede entenderse como el beneficio que recibe la comunidad humana (nacional o internacional) por la utilización de diferentes elementos de la naturaleza, los cuales pueden estar comprendidos en ecosistemas silvestres o domésticos, y cuyos efectos en la calidad de vida son tangibles e intangibles” (Informe Concertación Nacional, 1998, citado por [Camacho, et. al., 2000](#)).

En el año 2000, la **ONU** convoca a sus países miembros a desarrollar el programa de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio ([EEM](#)); pero es hasta [2005](#), que reconoce y formaliza la importancia de los SSAA, con la publicación de su informe de síntesis; en éste, los SSAA se definen como “los beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas”, concepto que resulta tan simple, que ha generado algunas confusiones.

En [2004](#), la [SEMARNAT](#) en conjunto con la **ONG** Hombre y Naturaleza (HN), publican un libro acerca de los SSAA en México, en donde definen a los SSAA y los califican como “beneficios intangibles” y como “condiciones y procesos naturales de un ecosistema”, que están a disposición de la sociedad, generándole beneficios socioeconómicos.

[Boyd y Banzhaf \(2007\)](#) introducen el concepto de SSAA-finales (equivalentes a “productos finales” en la contabilidad tradicional), basado en principios de economía de unidades de servicios, para hacerlo compatible con otras unidades de bienes y servicios que integran las contabilidades de los **PIB** nacionales. Opinan que, para que una definición de SSAA sea “operativamente útil”, debe ser clara y precisa, consistente tanto con los principios básicos de la ecología, como con los del sistema económico contable donde se originen. En este contexto, los definen como “aquellos componentes de la naturaleza, directamente disfrutados, consumidos o usados para producir el bienestar humano”. Además, consideran que, al igual que un “producto-final”, esta forma de considerar a los SSAA es adecuada en que deben incluirse dentro de las contabilidades nacionales para un **PIB-verde** adecuado, con valores de “unidades de servicio del ecosistema”.

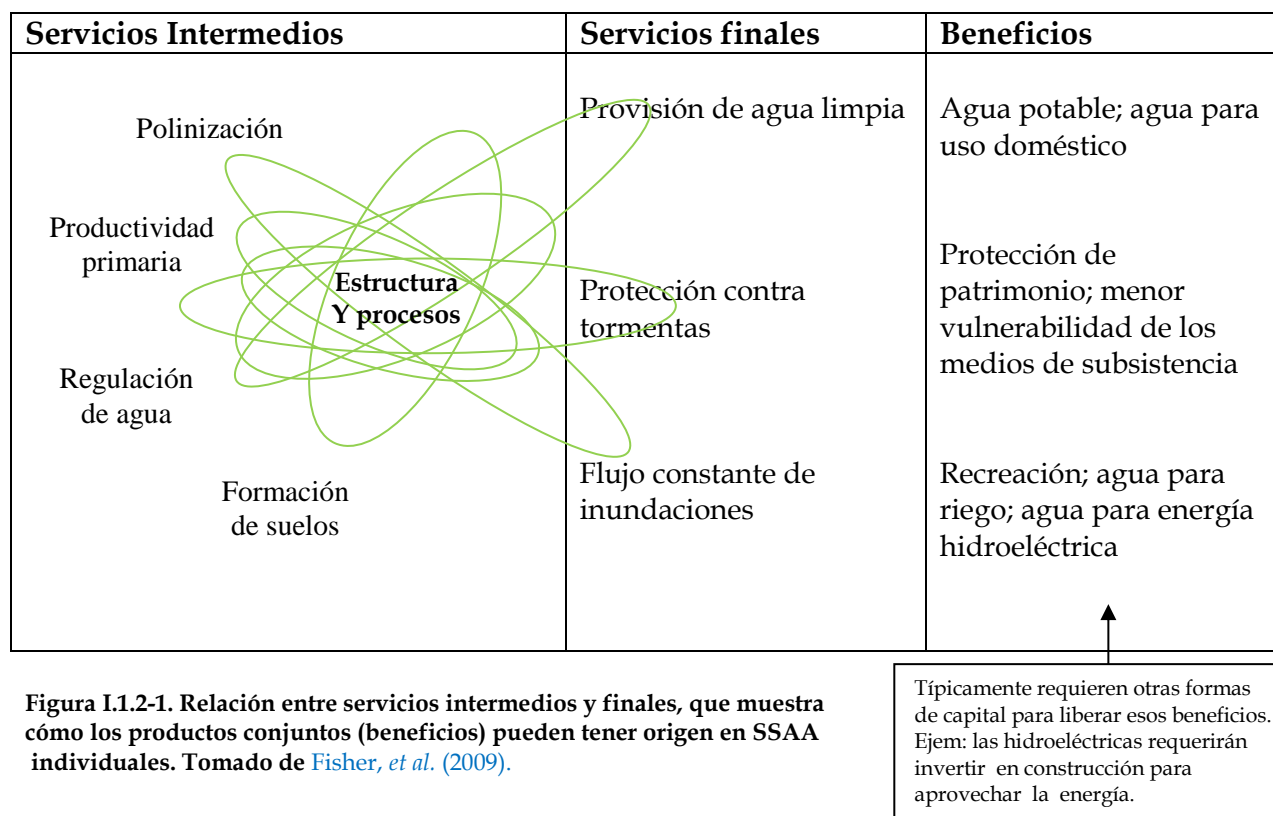
Siguiendo los planteamientos de [Boyd y Banzhaf \(2007\)](#), [Fisher, et. al. \(2009\)](#) señalan que los SSAA son un fenómeno ecológico que no debe ser usado en forma directa. Los definen como “los aspectos de los ecosistemas utilizados (activa o pasivamente) para producir bienestar humano”. La diferencia con los autores mencionados es que ellos se refieren a los SSAA sólo como los productos finales de consumo directo. Con su definición, Fisher y su equipo plantean que la organización (o estructura) del ecosistema, así como sus procesos y/o funciones son considerados como SSAA “si son consumidos o utilizados por la humanidad” ya sea en forma directa o indirecta; es decir, “sin beneficiarios humanos no hay SSAA”.

Esta idea antropocéntrica ha resultado controversial para algunos investigadores, como el caso de [Sherman \(2010\)](#), para quien esta visión actual del paradigma de los SSAA

resulta ya un placebo, pues argumenta que, a diferencia de las primeras concepciones del término, han dejado fuera las declaraciones de la Carta Mundial, respecto a que todas las formas de vida merecen un “respeto independiente de su utilidad para el hombre”, y para que esto sea así, la humanidad debe guiarse mediante un “código moral de acción”.

Fisher, *et al.* (2009) categorizan varios términos respecto a los SSAA que se han usado en la literatura científica, y que en su opinión son indicadores de los enlaces obvios entre la organización, operación y productos ecosistémicos fuente de beneficios a los humanos. Entre los términos relativos a la parte de “organización” destacan las existencias (*stock*), estructura, infraestructura, patrones, capital; en cuanto a operación, los flujos, las funciones (funcionamiento), servicios, procesos; y en cuanto a las salidas, enlistan los servicios, bienes, beneficios, rentabilidad.

Presentan una relación conceptual entre servicios intermedios y finales, que muestra cómo productos conjuntos (beneficios) pueden tener origen en SSAA individuales. Mencionan que los servicios intermedios pueden originarse a partir de las interacciones complejas entre las estructuras de los ecosistemas y los procesos, para llevar a servicios finales, lo que en combinación de otras formas de capital, son capaces de proveer beneficios sobre el bienestar humano. Este esquema se muestra en la Figura I.1.2-1.



Por su parte, Haines-Young y Potschin (2010), refuerzan el concepto de SSAA planteado por SEMARNAT y HN (2004), al definirlos como aquellas contribuciones que benefician al ser humano y que provienen de las interacciones entre procesos bióticos y abióticos. Para ellos, el aporte de materiales y energía de los ecosistemas son considerados como “bienes” y el aporte inmaterial como “servicios”.

En el presente trabajo, se utilizan tanto el término como la definición de [SEMARNAT y HN \(2004\)](#):

Los Servicios Ambientales (SSAA) son “los beneficios *intangibles* que los diferentes ecosistemas ponen a disposición de la sociedad, ya sea de manera natural o por medio de su manejo sustentable. En consecuencia, la base de los servicios ambientales se halla en los componentes y procesos que integran los ecosistemas”

I.1.3. La definición de los SSAA dentro de los marcos legales internacionales.

Como ya se mencionó, hacia la década de los 90's, y teniendo como marco la Declaración de Río de 1992, la Ley Forestal de Costa Rica ([Lfor-CR, 1996](#)), fue modificada para reconocer y conservar los SSAA mediante un mecanismo de pago por su conservación, contemplando entre ellos los siguientes: “mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (fijación, reducción, secuestro, almacenamiento y absorción), protección del agua para uso urbano, rural o hidroeléctrico, protección de la biodiversidad para conservarla y uso sostenible, científico y farmacéutico, investigación y mejoramiento genético, protección de ecosistemas, formas de vida y belleza escénica natural para fines turísticos y científicos.”

Dos años más tarde, este mismo país adapta el concepto a términos globales, definiendo los SSAA como “aquellos beneficios que recibe la comunidad humana (nacional o internacional) por la utilización de diferentes elementos de la naturaleza, los cuales pueden estar comprendidos en ecosistemas silvestres o antrópicos, y cuyos efectos en la calidad de vida son tangibles e intangibles (Informe Concertación Nacional, 1998, citado por [Camacho, et al., 2000](#)).

Otros países americanos fueron integrando el concepto de una u otra forma en sus respectiva legislación ambiental, por lo que paulatinamente el concepto fue evolucionando y conociéndose bajo diferentes términos: servicios ecosistémicos, servicios de los ecosistemas, bienes y servicios de la naturaleza, capital (o patrimonio) natural, valores naturales... e incluso en terminología económica y de mercado se considera su intangibilidad, al ser referidos como “externalidades positivas” de los bienes naturales.

Una vez entendida la importancia del reconocimiento, valoración y mercadeo de los SSAA a nivel global, la ONU a través de la [EEM \(2005\)](#), considera en un concepto más simple, pero que puede dar lugar a confusiones, que los “servicios ecosistémicos” son todos aquellos beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas. No considera por lo tanto, cuestiones de evaluación socioeconómica, donde los beneficios directos pueden ser valorados como tal (como la venta de madera obtenida del bosque), mientras que los indirectos provienen del funcionamiento de los procesos ecosistémicos que producen los beneficios directos.

A partir del año 2010 inician los trabajos del programa EEM-España, con la colaboración del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, y algunas ONG y universidades españolas. Actualmente se está encargando de desarrollar el

marco conceptual y metodológico del programa en España, y pretende contribuir en la generación de una nueva Ley de Patrimonio Natural y Biodiversidad.

A la fecha, el Estado Español no contempla dentro de su legislación estatal o autonómica una definición de los SSAA como tal. Sin embargo, la actual Ley de Patrimonio Natural y Biodiversidad (**LPNB**, Ley 42/2007, [BOE, 2007](#)), ejemplifica cuatro tipos de “servicios prestados por los ecosistemas” cuando (en su artículo 73) otorga la competencia a las Comunidades autónomas de “regular los mecanismos y condiciones para incentivar las externalidades positivas” generadas en terrenos ubicados en espacios naturales protegidos. No obstante, además de que no los define, confunde el primero de ellos, que enlista (como SSAA): “a) la conservación, restauración y mejora del patrimonio natural, de la biodiversidad, geodiversidad y del paisaje en función de las medidas específicamente adoptadas para tal fin, con especial atención a hábitats y especies amenazadas”. Define (en el Artículo 3, 17) una “externalidad” como “todo efecto producido por una acción, que no era buscado en los objetivos de la misma”.

Además, la **LPNB** contempla al Patrimonio Natural como el “conjunto de bienes y recursos de la naturaleza fuente de diversidad biológica y geológica, que tienen un valor relevante medioambiental, paisajístico, científico o cultural”, lo que coincide con otras definiciones de SSAA en cuanto habla de los recursos con ciertos valores. Además, define tres tipos de recursos para su aplicación: biológicos, genéticos y naturales, con una lógica idea de valor “real o potencial” (o bien “actual o potencial”) para el humano, con excepción de los genéticos, que se entiende, pero no lo manifiesta en forma explícita; estas definiciones además resultan confusas, pues dentro de los recursos biológicos engloba a los recursos genéticos. Finalmente, haciendo aún más compleja la interpretación jurídica, los recursos naturales vienen a ser “todo componente de la naturaleza”, incluso el paisaje, la biodiversidad, los ecosistemas e incluso la atmósfera y el espectro radioeléctrico.

Por otra parte, y coincidiendo también con otras definiciones de SSAA, la **LPNB** en su Artículo 4 señala que el patrimonio natural y la biodiversidad tienen una “función social y pública”, debido a su “estrecha vinculación con el desarrollo, la salud y el bienestar de las personas y por su aportación al desarrollo social y económico”. Además, ordena que “en la planificación y gestión de los espacios naturales protegidos y [de] las especies amenazadas se fomentarán los acuerdos voluntarios con propietarios y usuarios de los recursos naturales”.

La ya mencionada definición en México, por [SEMARNAT y HN \(2004\)](#) es válida para los instrumentos legales de carácter federal, como las manifestaciones de impacto ambiental y los ordenamientos del territorio. Además, es importante hacer notar que, respecto a la intangibilidad de los SSAA, [Corbera y González \(2007\)](#), reportan que “jurídicamente, un servicio ambiental es la prestación que otorgan los ecosistemas en beneficio del hombre, no consistente en la producción de un bien material (captura o secuestro de carbono, belleza escénica, etc.), y el bien ambiental, es la prestación de los ecosistemas en beneficio del hombre consistente en la producción de bienes materiales (madera, plantas, etc.)”. Los bienes tangibles que se obtienen del ecosistema cuentan con un precio de mercado. En cambio, los SSAA implican un uso humano indirecto –en

su caso- del ecosistema, cuyo precio de mercado no se ha definido por completo, lo que explica su sobreexplotación y degradación consecuente.

Aunque toda esta terminología se encuentra dentro del marco jurídico de la legislación mexicana, el concepto “servicios ambientales” no se incluye como tal en el principal instrumento legal de temas ambientales, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (**LGEEPA**). Esta data de 1988, pero ni en su última reforma de 2008 ([SEMARNAT, 2008](#)), se incluye el concepto como tal, sólo se hace referencias en sus Artículos 1° y 3°. El primero habla de que las disposiciones que incluye tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para, entre otros aspectos, que el aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración de recursos naturales “sean compatibles con la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas”. En el Artículo 3°, define los diferentes “recursos” (biológicos y genéticos) como elementos con valor o utilidad real o potencial o, en el caso de “Recurso Natural”, lo “susceptible de ser aprovechado en beneficio del hombre” ([SEMARNAT, 2008](#)).

El término de los SSAA como tal fue planteado por primera vez en el año 2000, mediante la Ley General de Vida Silvestre (**LGVS**, su última reforma, [SEMARNAT, 2011](#)), pero la necesidad de integrarlo en política ambiental surge con la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (**LGDFS**, [SEMARNAT, 2003](#)). No obstante, a la fecha el marco legal resulta confuso, pues en las leyes concernientes al manejo y protección de recursos naturales, se presentan diferentes interpretaciones, que se revisan a continuación.

La **LGVS**, en su Artículo 3, Fracción XLI, los define como aquellos “beneficios de interés social que se derivan de la vida silvestre y su hábitat, tales como la regulación climática, la conservación de los ciclos hidrológicos, la fijación del nitrógeno, la formación del suelo, la captura del carbono, el control de la erosión, la polinización de las plantas, el control biológico de plagas o la degradación de los desechos orgánicos”.

Por su parte, para la Ley de Aguas Nacionales (Artículo, 3 fracción XLVI, [SARH, 1994](#)), son “beneficios de interés social que se derivan de las cuencas hidrológicas y sus componentes, tales como la regulación climática, la conservación de los ciclos hidrológicos, control de la erosión e infraestructura aguas abajo, control de inundaciones, recarga de acuíferos, mantenimiento de los escurrimientos en calidad y cantidad, formación de suelo, la captura de carbono, purificación de los cuerpos de agua, conservación y protección de la biodiversidad; para la aplicación de este concepto en esta Ley se consideran los recursos forestales y su vínculo con los hídricos”.

En su Artículo, 3 fracción XXIX, Ley de Desarrollo Rural Sustentable ([SAGARPA, 2001](#)) incluye un concepto, aunque no como tal, en el que se refiere a “los beneficios que obtiene la sociedad de los recursos naturales, tales como la provisión y calidad del agua, la captura de contaminantes, la mitigación del efecto de los fenómenos naturales adversos, el paisaje y la recreación entre otros”.

La **LGDFS**, en su Artículo 7, Fracción. XXXVII, los entiende como aquellos “que brindan los ecosistemas forestales de manera natural o por medio del manejo

sustentable de los recursos forestales, tales como: la provisión del agua en calidad y cantidad; la captura de carbono, de contaminantes y componentes naturales; la generación de oxígeno; el amortiguamiento del impacto de los fenómenos naturales; la modulación o regulación climática; la protección de la biodiversidad, de los ecosistemas y formas de vida; la protección y recuperación de suelos; el paisaje y la recreación, entre otros”.

Esta misma definición fue tomada prácticamente en su totalidad para la última legislación vigente en el Estado de Tamaulipas, el Código para el Desarrollo Sustentable de Tamaulipas (CETam, 2008), en cuyo Artículo Cuarto, Fracción LI, sólo omite la palabra “forestales” en la frase “que brindan los ecosistemas forestales”, y la sustituye en la frase “manejo sustentable de los recursos forestales” por “recursos naturales que los integran”. Este Código daba origen a la Agencia Ambiental, que en la actual Administración (iniciada a fines de 2010) ha desaparecido, quedando en suspenso la aplicación de este instrumento legal.

I.1.4. Clasificación de SSAA

Diferentes esfuerzos de clasificación de los variados tipos de SSAA han sido realizados, pero en general parten de las bases de De Groot, *et. al.* (2002), quienes proponen un panorama general que envuelve el estudio y evaluación de los SSAA; incluyen la comprensión de los ecosistemas con sus estructuras, procesos y funciones, de donde provienen los bienes y servicios que le aportan al ser humano. Por ello, los SSAA tienen para la sociedad valores de tipo ecológico, socio-cultural y económico, que en conjunto arrojan un valor total sobre el cual deben sentarse las bases de una adecuada política y opciones de manejo que permita mantener la salud ecosistémica y sus óptimas condiciones de funcionamiento. El esquema de esta idea se muestra en la Figura I.1.4-1.

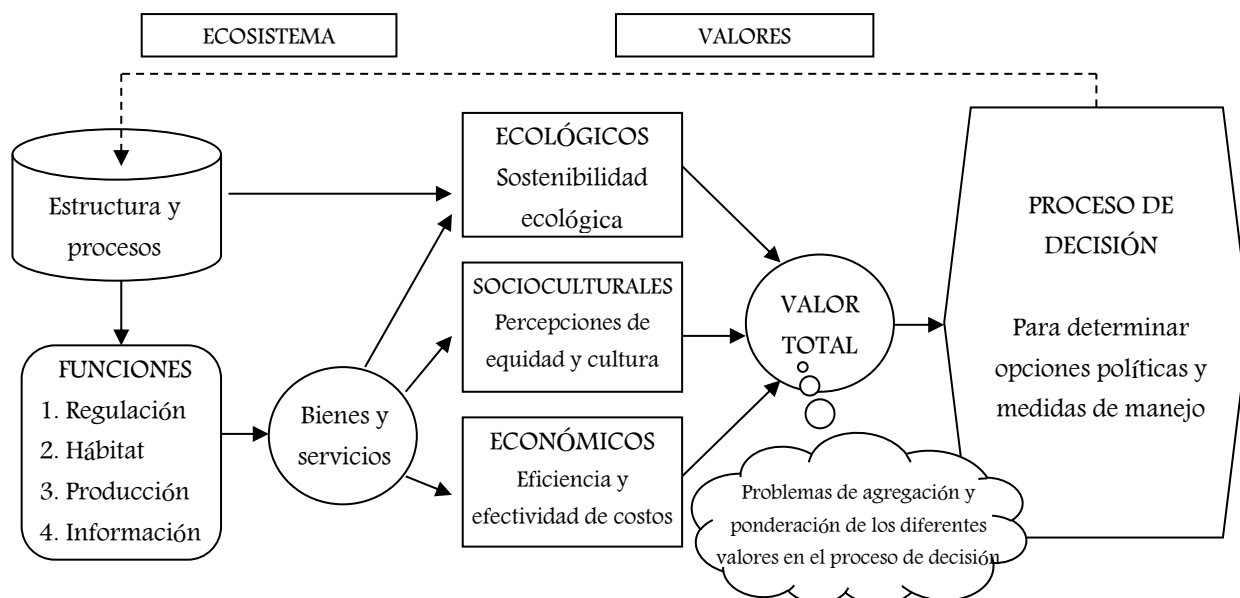


Figura I.1.4-1. Diagrama de análisis y evaluación de bienes, servicios y funciones del ecosistema (tomado de De Groot, *et. al.*, 2002).

I.1.4.1. Tipologías con principio basal en funciones ecológicas

Según afirman (De Groot, *et. al.*, 2002), existe una incalculable variedad de funciones de los ecosistemas en el mundo, que han sido reportadas en una cantidad indeterminada

de literatura científica. Ante ese panorama, realizaron la tarea de agruparlas en cuatro funciones básicas, sobre las que clasifican los tipos de SSAA más comunes, siempre que sean ecológicamente sostenibles. En esta tipología, cada función ecológica es determinada por los procesos que se presentan en el ecosistema genérico; dichos procesos son producto de complejas interacciones entre los componentes del ecosistema, tanto de naturaleza biótica como abiótica, y que se realizan mediante intercambios de materia y energía. La clasificación de este grupo de autores se presenta en el (Cuadro I.1.4.1-1).

Cuadro I.1.4.1-1. Funciones, bienes y servicios de ecosistemas naturales y semi-naturales (tomado literalmente de [De Groot, et. al., 2002](#)).

Funciones	Procesos y componentes del ecosistema	Ejemplos de Bienes y Servicios
<i>Funciones de regulación</i>		
	<i>Mantenimiento de procesos ecológicos esenciales y de sistemas de soporte vitales</i>	
1. Regulación de gases	Rol de ecosistemas en ciclos bio-geoquímicos (ejem: balance Co ₂ /O ₂ , capa de ozono, etc.)	1.1. Protección de rayos UVb por O ₃ (previene enfermedades) 1.2. Mantenimiento de (buena) calidad del aire
2. Regulación del clima	Influencia de cobertura del terreno y procesos mediados biológicamente (por ejemplo: DMS, sulfuro de dimetilo) sobre el clima	Influencia en el clima (ver también función 2), ejem: hábitat humano, salud, cultivos
3. Prevención de disturbios	Influencia de la estructura ecosistémica sobre la amortiguación de disturbios ambientales	3.1. Protección contra tormentas (ejem: por arrecifes coralinos) 3.2. Prevención de inundaciones (ejem: por humedales y bosques)
4. Regulación de agua	Rol de la cobertura del terreno en regulación de escorrentías y descarga de ríos	4.1. Drenaje e irrigación natural 4.2. Medio de transporte
5. Suministro de agua	Filtrado, retención y almacén de agua dulce (ejem: en acuíferos)	Provisión de agua para consumo (uso potable, de riego e industrial)
6. Retención de suelos	Rol de la matriz de raíces y biota del suelo en la retención	6.1 Mantenimiento del suelo arable 6.2 Prevención de daños por erosión /salinización
7. Formación de suelos	Desgaste de rocas, acumulación de materia orgánica	7.1 Mantenimiento de la productividad en el suelo arable 7.2 Mantenimiento de suelos naturales productivos
8. Regulación de nutrientes	Rol de la biota en el almacén y reciclaje de nutrientes (ejem N,P y S)	Mantenimiento de suelos saludables y ecosistemas productivos
9. Tratamiento de residuos	Rol de la vegetación y biota en remover o degradar los nutrientes y compuestos xénicos	9.1 Control/desintoxicación de la polución 9.2 Filtrado de partículas de polvo 9.3 Abatimiento de contaminación auditiva
10. Polinización	Rol de la biota en el movimiento de los gametos de la flora	10.1 Polinización de especies de plantas silvestres 10.2 Polinización de cultivos
11. Control biológico	Control de poblaciones a través de relaciones tróficas-dinámicas	11.1 Control de plagas y enfermedades 11.2 Reducción de herbívoros (dañinos a cultivos)
<i>Funciones de Hábitat</i>		
	<i>Provisión de hábitat (espacio adecuado para la vida) de animales y plantas silvestres</i>	
12. Función de refugio	Espacio adecuado para la vida de animales y plantas silvestres	Mantenimiento de la diversidad biológica y genética (y, por lo tanto, la base de la mayoría de las otras funciones) Mantenimiento de especies recolectadas comercialmente
13. Función de criadero	Hábitat adecuado para la reproducción	

CONTINÚA...

Cuadro I.1.4.1-1. Funciones, bienes y servicios... CONTINÚA

Funciones	Procesos y componentes del ecosistema	Ejemplos de Bienes y Servicios
Funciones de Producción		
<i>Suministro de recursos naturales</i>		
14. Alimento	Conversión de energía solar en plantas y animales comestibles	14.1 Cacería, colecta de peces, juego, frutas, etc. 14.2 Cultivo y acuicultura de subsistencia a pequeña escala
15. Materia prima	Conversión de energía solar en biomasa para construcciones humanas y otros usos	14.1 Construcción y manufactura (ejem: madera, pieles) 14.2 Combustible y energía (ejem: madera combustible, materia orgánica) 14.3 Forraje y fertilizante (ejem: krill, hojas, desechos)
16. Recursos genéticos	Material genético y evolución en plantas y animales silvestres	15.1 Mejora de resistencia de los cultivos a patógenos y pestes 15.2 Otras aplicaciones (ejem: cuidado de la salud)
17. Recursos medicinales	Variedad en sustancias (bio)químicas en, y otros usos medicinales de, la biota natural	17.1 Drogas y fármacos 17.2 Modelos y herramientas químicas 17.3 Organismos de pruebas y ensayo.
18. Recursos ornamentales	Variedad de la biota en ecosistemas naturales con uso (potencialmente) ornamental	Recursos de la moda, artesanía, joyería, mascotas, culto, decoración y <i>souvenirs</i> (ejem: pieles, plumas, marfil, orquídeas, mariposas, peces de acuario, conchas, etc.)
Funciones de Información		
<i>Suministro de oportunidades para el desarrollo cognitivo</i>		
19. Información estética	Elementos atractivos del paisaje	Disfrute escénico (carreteras escénicas, alojamiento, etc)
20. Recreación	Variedad en paisajes con (potencial) uso recreativo	Viajes a ecosistemas naturales para ecoturismo, deportes al aire libre, etc.
21. Información cultural y artística	Variedad en elementos culturales con valor cultural y artístico	Uso de la naturaleza como motivo en libros, películas, pintura, folklore, símbolos nacionales, arquitectura, anuncios, etc.
22. Información espiritual e histórica	Variedad en elementos naturales con valor espiritual e histórico	Uso de la naturaleza con propósitos religiosos o históricos (ejem: valor patrimonial de elementos y ecosistemas naturales)
23. Ciencia y educación	Variedad en elementos naturales con valor científico y educativo	Uso de sistemas naturales para excursiones escolares, etc. Uso de la naturaleza para investigación científica

Algunos proyectos de influencia mundial como el EEM (2005) o TEEB (2008) y organismos como la FAO (2007) se basan en esta clasificación de De Groot, *et. al.*, (2002) para agrupar los SSAA en cuatro categorías: de soporte, de provisión, de regulación y culturales. No obstante, es necesario aclarar que, como tratan indistintamente los bienes, los servicios y las funciones ecosistémicas, no concuerdan con definiciones más objetivas de los SSAA (SEMARNAT y HN, 2004; Haines-Young y Potschin, 2010) y clasificaciones como las de Boyd y Banzhaf (2007), Wallace (2007) y Ojea, *et al.* (2010).

El EuC (2008), además de basarse –como ya se mencionó– en De Groot *et al.* (2002), incluye otras ideas de trabajos como los de Costanza *et al.* (1997) y EEM (2005), por ser éstas objeto de discusiones internacionales en su momento. La diferencia en este caso, es que incluyen en su lista uni-dimensional de categorías un grupo de SSAA que llamaron “Servicios del Hábitat”, además de los multicitados de provisión, regulación y culturales. Es importante mencionar que en este trabajo se hace distinción entre lo que es un bien y un servicio, y que la mayoría de los éstos tienen múltiples beneficios, muchos de ellos resultado de la combinación entre los capitales humano y natural.

La organización de NE (2009) clasifica los SSAA de sus sistemas montañosos sin aclarar el fundamento para la tipología, agrupándolos en: defensa de las costas, protección ante inundaciones, agua limpia, mitigación del cambio climático y regulación directa del clima.

Por otro lado, la ESID (la Base de Datos de Indicadores de EESS, 2010) fue creada con el objetivo de organizar métricas e indicadores (eventualmente datos) de forma que apoye la aplicación de conceptos de SSAA en los diálogos y decisiones políticas. Incorpora elementos del marco conceptual de SSAA del EEM (2005), otros marcos de SSAA que empiezan a desarrollarse para aplicaciones específicas (como las de Fisher *et al.*, 2009), y el marco del indicador de la fuerza motriz de presión-condición-impacto-respuesta (*Driving force-Pressure-State-Impact-Response*), de la Agencia Ambiental de la Unión Europea.

En el año 2010, Haines-Young y Potschin proponen a la Agencia Ambiental Europea, una clasificación internacional común (*Common International Classification of Ecosystem Services*) para una contabilidad ambiental y económica integrada. Presentan una extensa clasificación de los SSAA divididos primero en tres tipos de niveles temáticos, en concordancia con los “grupos funcionales” de SEEA (Manual de Contabilidad Nacional- contabilidad ambiental y económica integrada, *Handbook of National Accounting - Integrated Environmental and Economic Accounting*; citando a UN *et al.*, 2003): tema de aprovisionamiento, tema de regulación y tema cultural.

Posteriormente, dividen estos tres temas en nueve clases: alimento y bebida, energía y materiales dentro nivel temático de aprovisionamiento; regulación de los procesos de asimilación de contaminantes, contra amenazas, de condiciones biofísicas, del medioambiente biótico, dentro de regulación y mantenimiento; y dentro del nivel temático cultural incluyen simbolismo y experiencial/intelectual. Posteriormente, profundizan aún más, integrando los SSAA dentro de las clases en grupos, tipos y subtipos.

I.1.4.2. Tipologías con principio basal en funciones económicas

Dentro de un contexto más práctico, Boyd y Banzhaf (2007) proponen un inventario de SSAA-finales intentando que sea una herramienta de medición práctica, haciendo una propuesta tipológica tal como debería incluirse en las contabilidades nacionales para un adecuado PIB-verde. Comparan su concepto de SSAA y su clasificación con dos de las “más influyentes” para ellos, el de Daily (1997) y el del EEM (2005).

En el primer caso, Boyd y Banzhaf (2007) reconocen la idea de Daily (1997) de “ilustrar la conexión entre la ecología y el bienestar humano”, pero sin pensar en que su clasificación pudiera funcionar como un sistema contable. Algunos elementos que ella tipifica como “servicios”, dentro del sistema propuesto por ellos caben como “procesos o funciones”; así mismo ocurre al compararse con la tipología de la EEM (2005). Por ejemplo, la purificación del agua (un SSAA según Daily, 1997) lo consideran como una función de algunas coberturas del terreno, por lo tanto, no lo contabilizan como el servicio en sí, sino parte de la producción del SSAA “agua limpia”. No obstante, consideran que el sistema de clasificación de la EEM (2005) es un buen ejemplo de un

sistema contable que ha integrado el paradigma de los SSAA; sin embargo, para ellos la definición que hace de los SSAA resulta bastante genérica y puede crear confusión al momento de hacer las mediciones prácticas.





Boyd y Banzhaf (2007) aclaran que su inventario (Cuadro I.1.4.2-1) no es exhaustivo ni en los bienes ni en sus SSAA, pero que éstos se encuentran asociados con un índice de SSAA, que representa su medida del valor del ecosistema como un componente de lo que es un PIB-verde; por ello, incluyen “las contribuciones ecológicas finales tanto a los servicios y bienes de mercado y de no mercado”.

Cuadro I.1.4.2-1. Inventario de ejemplos de SSAA asociados a beneficios particulares (tomado de Boyd y Banzhaf, 2007).

Beneficio		SSAA ilustrativos
Cultivos	Manejados comercialmente (incluyen los cultivos de terreno, los marinos, de alimento, fibra y energía)	Población de polinizadores, calidad del suelo, disponibilidad de agua, etc.
	De subsistencia Sin manejo Marinos	Peces comerciales, cultivo de poblaciones Poblaciones marinas comerciales
	Farmacéutica	Biodiversidad
Comodidad y satisfacción	Legado estético, espiritual y emocional	Cobertura natural del suelo en cuencas visuales Vida silvestre, biodiversidad, cobertura del terreno variada
	Beneficios de existencia	Poblaciones de especies relevantes
Protección contra daños	Salud	Calidad del aire, calidad del agua potable, usos del suelo o poblaciones de predadores hostiles a transmisión de enfermedades
	Propiedad	Humedales, bosques, cobertura natural del terreno
Asimilación de contaminantes	Costos de disposición evitados	Aguas superficiales y subterráneas, terreno abierto
Provisión de agua potable	Costos de tratamiento evitados	Calidad de agua superficial y de acuífero
	Costos evitados de bombeo o transporte	Disponibilidad de acuíferos
Recreación	Observación de aves	Poblaciones de especies relevantes
	Senderismo	Cobertura natural del terreno, panorámicas, aguas superficiales
	Pesca deportiva	Agua superficial, poblaciones de interés, cobertura natural del terreno
	Natación	Agua superficial, playas

En un caso de clasificación más específica, Brauman (2007) estudia la relación entre los procesos hidrológicos del ecosistema y los SSAA que prestan. A cada tipología le vincula atributos de cantidad, calidad, localización y tiempos de flujo. Agrupan entonces los SSAA hidrológicos en cuatro categorías (Cuadro I.1.4.2-2), según lo que recibe el beneficiario: derivación de abastecimiento de agua, abastecimiento de agua in situ, mitigación de daños hidrológicos, valores espirituales y estéticos, y de sostenimiento.

Cuadro I.1.4.2-2. SSAA hidrológicos recibidos por los beneficiarios, su relación con los procesos hidrológicos del ecosistema y los efectos sobre el mismo (atributos hidrológicos). Tomado de literalmente de Brauman (2007).

Procesos ecohidrológicos (lo que el ecosistema hace)	Atributo hidrológico (efecto directo del ecosistema)	Servicio hidrológico (lo que el beneficiario recibe)
Interacciones climáticas locales Uso del agua por las plantas	 Cantidad (almacén y flujo de agua superficial y subterránea)	Suministro desviado de agua: Agua para usos municipal, agrícola, comercial, industrial, generación de energía termoeléctrica, etc.
Filtración ambiental Estabilización de suelos Adiciones/sustracciones químicas y biológicas	 Calidad (patógenos, nutrientes, salinidad, sedimentos)	
Desarrollo de suelos Modificación de la superficie del suelo Alteración de trayectoria del flujo superficial Desarrollo de bancos de río	 Localización (superficial/subterránea, aguas arriba/ abajo, canalizada/no canalizada)	Mitigación de daños por el agua: Reducción de daños por inundación, salinización de terrenos secos, intrusión de agua salina, sedimentación Espiritual y estético Provisión de valores religiosos, educacionales y de turismo
Control de velocidad de flujo Almacén de agua a corto y largo plazo Estacionalidad del uso de agua	 Tiempos (flujos máximos, flujos base, velocidad)	Soporte Agua y nutrientes para sostener estuarios vitales y otros hábitats, preservación de opciones

Wallace (2007) concuerda con Boyd y Banzhaf (2007) en cuanto a que otras clasificaciones mezclan en una misma tipología los procesos (que considera como medios) para obtener los servicios, con los servicios (fines) en sí mismos, lo que aunado con la ambigüedad en las definiciones de términos clave (funciones, procesos o servicios de los ecosistemas), limita severamente la contribución de dichas tipologías sobre decisiones importantes para la biodiversidad. Este autor cita otros trabajos en donde se proponen diferentes tipologías para los SSAA y que caen en este error, como los anteriormente citados Costanza *et al.* (1997) y De Groot *et al.* (2002), así como otros que por esta causa no se revisaron en el presente trabajo: Abel *et al.* (2003), Groffman *et al.* (2004), Anielski y Wilson (2005), Eamus *et al.* (2005), Naiman *et al.* (2005), De Groot (2006), Farber *et al.* (2006).

Describen a los SSAA en “términos de la estructura y composición de elementos particulares del ecosistema (expresados como activos)”, y los clasifican de acuerdo con los valores humanos que sostienen: Recursos adecuados: Medio ambiente benigno física y químicamente; protección ante depredadores, enfermedades y parásitos; satisfacción sociocultural (Cuadro I.1.4.2-3),.

Cuadro I.1.4.2-3. Clasificación de SSAA propuesta por Wallace (2007), de acuerdo con su relación con los valores humanos, procesos del ecosistema y activos naturales.

Categoría de valores humanos	SSAA- experimentados a nivel humano individual	Ejemplos de procesos y activos que necesitan ser manejados para entregar los SSAA
Recursos adecuados	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentos (para energía de los, estructura, reacciones químicas clave) - Oxígeno - Agua (potable) -Energía (ejem: para cocinar-componente de calentamiento bajo ambiente físico y químico) - Ayudas de dispersión (transporte) 	<i>Procesos del ecosistema</i> <ul style="list-style-type: none"> - Regulación biológica - Regulación del clima - Regímenes de disturbio, incluyendo incendios, ciclones, inundaciones - Regulación de gases - Manejo de “belleza” a escalas locales y de paisaje - Manejo de espacio para recreo - Regulación de nutrientes - Polinización -Producción de materia prima para vestido, alimento, construcción, etc. -Producción de materia prima para energía, como madera -Producción de medicina -Interacciones socio-culturales - Formación de suelos - Retención de suelos - Regulación de residuos y suministro - Propósitos económicos
Protección contra predadores/ enfermedades/ parásitos	<ul style="list-style-type: none"> - Protección contra predación - Protección contra enfermedades/ parásitos 	
Medio ambiente químico y físico benigno	Regímenes medio ambientales benignos de: <ul style="list-style-type: none"> - Temperatura (energía, incluye uso para calentamiento) - Humedad Luz (ejem: para establecer ritmos circadianos) - Química 	<i>Elementos bióticos y abióticos</i>
Satisfacción socio-cultural	Acceso a recursos para: <ul style="list-style-type: none"> - Satisfacción espiritual / filosófica - Un grupo social benigno, incluyendo a compañeros y ser amado - Recreación, ocio - Ocupación significativa - Estética - Valores de oportunidad, capacidad para evolución biológica y cultural <ul style="list-style-type: none"> - Recursos de conocimiento/educación - Recursos genéticos 	Procesos son gestionados para suministrar una composición y estructuras particulares de elementos del ecosistema. Estos elementos pueden ser descritos como activos de recursos naturales: <ul style="list-style-type: none"> - de biodiversidad - de terreno (suelo, geomorfología) - de agua - de aire - de energía
Los SSAA consistentemente se relacionan con valores humanos específicos, pero los procesos y los activos no. La mayoría de éstos contribuye a un amplio rango de servicios.		

Por otra parte, Fisher, *e. al.* (2009) coinciden con el concepto de que sólo los beneficios finales obtenidos de los SSAA son los que deben integrarse en términos económicos, ya que se derivan de servicios intermedios o finales. Para ellos, un sistema adecuado de clasificación debe tener en cuenta una “definición robusta y clara”, las características tanto del ecosistema en estudio o de sus SSAA, así como “el contexto de decisión o la motivación para los que los SSAA están siendo considerados”. Más que una clasificación, ofrecen un esquema para realizar clasificaciones de acuerdo con el contexto de análisis.

Proponen entonces una clasificación de acuerdo con esta idea:

- Aportaciones abióticas, como la luz solar, la lluvia o nutrientes.
- Servicios intermedios: formación del suelo, productividad primaria, ciclo de los nutrientes, polinización, fotosíntesis.

- Servicios finales: regulación del agua, productividad primaria.
- Beneficios: agua potable o para riego, electricidad de plantas hidroeléctricas, alimentos, madera y productos no maderables.

La categorización de [Fisher, et al. \(2009\)](#) está basada en los productos provenientes de los servicios, definidos éstos en términos de los beneficios (producción) que puede obtener de ellos la población humana.

La aportación española a la clasificación de SSAA la realizan [Ojea, et al. \(2010\)](#), enfocándose en la valoración de los servicios del agua que proveen los bosques. No es una propuesta nueva en sí misma, sino que agrupan este tipo de SSAA encontrados en la literatura, según la categorización de [Brauman et al. \(2007\)](#). En concordancia con los anteriores ([Wallace, 2007](#); [Baral et al., 2009](#); y [Haines y Potschin, 2010](#)), este grupo parte de la idea de que el servicio se define en términos de su beneficio a la población humana, por lo que debe basarse en los servicios de salida (o SSAA finales, como mencionan otros autores), para no contabilizarse por duplicado o por el contrario, ser subestimados en sus valores.

[Ojea, et al. \(2010\)](#) señalan cuatro aspectos clave en los desacuerdos reportados por la literatura de valoración de SSAA, en cuanto a su clasificación e interpretación: la definición adecuada, las razones de su valoración, los tipos de valores económicos a considerar y la naturaleza de los SSAA.

I.1.5. Evaluación de SSAA. Estado de la cuestión: ¿Por qué los ecosistemas y los servicios deben evaluarse?

De acuerdo con [Alexander, et al. \(1998\)](#), como es muy obvio que los ecosistemas son esenciales para la sobrevivencia humana (incluso esto se reconoce en el principio primero de la política ambiental mexicana, según el Art. 15, Fracc. I de la LGEEPA, [SEMARNAT, 2008](#)), se les da poco o nulo valor; a lo más, se les da un valor marginal debido a la ausencia de mercados privados y bien organizados.

A través de la historia, el concepto de valor puede resumirse en la contribución de algo a una condición o a un estado de un sistema. Más allá de su valor intrínseco, los ecosistemas tienen valor, porque, de acuerdo esta definición, tanto su estructura como sus funciones contribuyen a las condiciones y estados del sistema global; por lo tanto, contribuyen al “objetivo” de la sobrevivencia humana ([Costanza y Farber, 2002](#)).

De acuerdo con esto, la [IUCIN, et al. \(2004\)](#) manifiesta que los ecosistemas proveen al hombre de una amplia variedad de bienes y servicios que sostienen las actividades y el bienestar de la humanidad. En este mismo sentido, [Costanza \(2000\)](#), señala que es obvio que los ecosistemas son valorables para todas las especies que los comprenden, incluyendo los humanos, ya que les proveen flujos de energía y material esencial para su sobrevivencia, siendo esenciales para la misma.

Por otra parte, continúa [Costanza \(2000\)](#), está claro que, desde una perspectiva humana los ecosistemas naturales no sólo proveen servicios de soporte vital, sino también servicios más allá de éste, como los recreativos o el disfrute estético. Las sociedades implícita y explícitamente valoran no sólo los bienes y servicios de los ecosistemas

naturales, sino también las propiedades de esos ecosistemas. Por ejemplo, las propiedades de estabilidad o sostenibilidad son valoradas *Per Se*, en la medida en que la gente desea evitar incertidumbre y catástrofes. Es posible valorar la distancia remanente del borde de los acantilados; y consecuentemente valorar las condiciones del ecosistema desde esta perspectiva.

Aunque a en la fecha, es más que obvio que la sobrevivencia de la especie humana depende de la naturaleza, el valor que esto supone no es del todo comprendido ni reflejado por las economías de las sociedades actuales. Este escaso conocimiento de la relación entre economía y naturaleza, desfavorece a los ecosistemas naturales, que se encuentran bajo gran presión que se incrementa con la enorme demanda de bienes y servicios en el mundo (IUCIN, *et al.*, 2004).

Por si esto no bastara, existen pocos estímulos financieros por conservar los ecosistemas y aún menos penalizaciones por destruirlos. Las políticas que incentivan a la conservación de la naturaleza son emergentes, por lo que aún carecen de un entendimiento bien fundamentado y útil de los beneficios económicos de su conservación, o los costos de su pérdida (IUCIN, *et al.*, 2004).

Además, existen diversas actividades humanas que alteran los procesos naturales, cuya mitigación resulta muy costosa o imposible; por ello es necesario tomar medidas para prevenir una disminución en la calidad de los servicios ambientales. Esto, aunado a una creciente escasez y sustitución de capital natural, hace imprescindible el análisis económico del uso y conservación de ecosistemas (Benítez, *et. al.*, 1998).

A este respecto, la EEM (2005) menciona entre sus recomendaciones clave para reducir la degradación de los SSAA, que se debe asegurar que en las decisiones políticas “se tengan en cuenta todos los valores de los servicios de los ecosistemas, no sólo los que se compran y venden en el mercado”. Además, que en las decisiones de planificación regional debe incluirse una “gestión sensata” de los SSAA, así como ofrecer un libre acceso a la información de los ecosistemas y de las decisiones que afecten a lo SSAA que producen.

No obstante, como indica el UNEP (2009), la valoración de los ecosistemas y sus SSAA ha sido problemática, ya que por un lado “algunas personas han argumentado que no es factible poner un valor monetario a servicios (SSAA) basándose en métodos convencionales de valuación económica”, mientras que varios investigadores, tanto ecologistas como economistas, han realizado diversos trabajos en los que muestran las formas de darle un valor práctico a los recursos y sus SSAA, de forma que puedan incluirse en la contabilidad nacional y con ello proteger los recursos naturales de su territorio.

Las mediciones económicas o monetarias de lo que es el valor de cualquier cosa, son sólo uno de los tipos de medida que pueden ser útiles en el manejo de las actividades humanas. Dichas mediciones resultan particularmente útiles porque la mayoría de las sociedades tienen alguna noción intuitiva del valor económico, además de que y las motivaciones de los impactos humanos son frecuentemente económicas, como la construcción de una presa o la cosecha de madera. La valoración económica del valor

de un ecosistema y sus beneficios, es especialmente útil en la medida que puede ser usada como indicador para regular la actividad humana; por ejemplo, con la aplicación de tasas ambientales o de ajustes a las contabilidades de ingresos nacionales. Sin embargo, estas medidas deben estar bien fundamentadas, ya que como indicadores parte de sistemas complejos, pueden también proveer información falsa o engañosa (Costanza, 2000).

En el mundo político práctico, el manejo de ecosistemas está basado en el entendimiento de cómo trabajan los sistemas naturales, cómo los humanos pueden alterarlos, los valores que deseamos proteger y los costos de esa protección. Esto sugiere que la valoración de los SSAA, desde las perspectivas económicas y ecológicas, es un necesario (pero no el único) ingrediente en la política práctica. La perspectiva económica es obvia, ya que los objetivos de bienestar humano están basados en parte sobre los flujos de bienes y servicios de los ecosistemas económico y ecológico. La perspectiva ecológica es similarmente obvia, ya que la valuación refleja el rol e importancia de las estructuras y procesos naturales para la salud de los ecosistemas y para el mantenimiento de los SSAA (Costanza, 2000).

Para llamar la atención sobre la importancia que los SSAA representan para la humanidad, el grupo de trabajo *'Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital: Toward a Dynamic, Integrated Approach'* que fue patrocinado por el *National Center for Ecological Analysis and Synthesis* (EEUU), liderado por Costanza, et al. (1998), publicó un artículo en *Nature*, en el que estimaron el valor económico de la biósfera mundial. Como era de esperarse, esto generó una gran cantidad de publicaciones científicas, (hasta 2002 había sido citado 375 veces en artículos de revistas científicas, siendo que algunas de las más importantes, como la misma *Nature*, tienen en promedio unas 20) (Costanza, 2000). Esa tendencia ha sido constante, ya que, como cita Fisher et al. (2009), el número de artículos científicos que usan sólo el término de "ecosystem services" ha ido en aumento, pasando de 10 ó menos entre 1993 y 1998, y subiendo drásticamente los siguientes diez años hasta alcanzar 250 registros sólo en la *ISI Web of Science*.

El trabajo de Costanza, et al. (1998) provocó discusiones, debates y atención de los medios abiertos al público en general, (NY Times) o más especializado (Science, Science News, etc.); así de evidente resultó la importancia que esta controversial valoración posee para científicos, economistas y elaboradores de políticas.

Por lo tanto, cada vez es más necesario mejorar, ampliar, especificar y adecuar "los métodos usados por los primeros valuadores de SSAA, que resulten en una mejor comprensión de las complejidades de las relaciones entre los sistemas económico y ecológico" (Costanza, 2000).

Por otro lado, Costanza y Farber (2002), mencionan que se deben hacer "consideraciones explícitas" de lo que las decisiones sociales y económicas implican sobre los ecosistemas, ante las presiones que las demandas humanas y sus avances tecnológicos les imponen. Con ello, es posible obtener indicadores capaces de "proveer una retroalimentación que facilite el manejo de las actividades humanas"; en este

sentido, es necesario que dichas implicaciones tengan un valor fácilmente entendible y compatible con otros indicadores de bienestar y desarrollo humano.

[Costanza \(2000\)](#) se cuestiona sobre “¿Qué significa para nosotros el “valor” de la naturaleza?”, reflexionando en la posibilidad de varios significados. Explica que si “valor” es definido como “la contribución de algo a una condición o estado del sistema”, es un hecho que las estructuras y funciones de los sistemas naturales, por definición, tienen “valor”. Ejemplifica este razonamiento citando que el valor de un árbol para un bosque es su función para perpetuar las condiciones forestales, incluyendo las funciones de los ciclos hidrológico y de nutrientes; como puede haber intercambios entre estructuras o funciones particulares, algunas especies de árboles pueden ser sustituibles por otras con el objeto de mantener la salud forestal y los procesos ecológicos. Por lo tanto, es posible hablar de un “valor” relativo de esas especies sin referencia a percepciones o preferencias humanas. Por otra parte, si el “valor” es definido en términos de “una contribución a un objetivo” (lo que es una condición de utilidad), los sistemas naturales tienen valor en la medida que contribuyen a ese objetivo.

Un objetivo principal de la interacción humana con los ecosistemas naturales es el sostenimiento del bienestar humano, incluyendo la sostenibilidad de ese bienestar y su distribución equitativa. Este objetivo es el criterio contra el que la actividad humana y las condiciones de los sistemas naturales son medidos a menudo. Los mencionados intercambios entre actividades y condiciones naturales dan información acerca de las contribuciones relativas a esos elementos del objetivo, y por lo tanto de sus valores. Esos valores relativos son una importante señal de retroalimentación que puede guiar el manejo de las actividades humanas en los ecosistemas naturales ([Costanza, 2000](#)).

Ahora bien, el indicador más estudiado del desarrollo económico de una nación está dado por su **PIB**, pues cuando éste tiene tendencia al crecimiento, es porque se están generando empleos y evitando recesiones del país analizado. No obstante, “el crecimiento del **PIB** no captura muchos aspectos vitales de la riqueza y bienestar de la nación, tales como los cambios en la calidad de la salud, la cobertura educativa, o los cambios en la cantidad y calidad de los recursos naturales” ([TEEB, 2008](#)). Por lo tanto, ha sido necesaria la inclusión de algunos indicadores que sí reflejen estos aspectos, y en algunos países se ha comenzado a hablar del **PIB-verde**, el cual, entre otros aspectos, debe incluir el valor de los SSAA de su territorio.

Siguiendo esas ideas, [Boyd y Banzhaf \(2007\)](#) aclaran que “las contabilidades nacionales no miden el bienestar humano en sí (algo imposible), sino los factores que indican ese bienestar”. Es decir, no se mide la economía, sino el valor de la economía en el **PIB**; de la misma forma “la medición de los ecosistemas debe interpretarse como una medida del valor de la naturaleza, no como su valor en sí mismo”. Con su aportación, manifiestan que su intención es establecer las bases para crear una contabilidad a escala nacional del “bienestar medioambiental y de la evaluación de desempeño, que sea potencialmente afín con la contabilidad del ingreso nacional, y por lo tanto un amplio **PIB-verde**”; objetivo que cita es compartido por otros estudios no referidos en este trabajo, como Nordhaus (2005); World Bank (2005); U.S. Bureau of Economic Analysis (1994); United Nations Environment Programme (1993).

Estos autores argumentan que la carencia de las unidades estandarizadas de SSAA (USE) ha entorpecido la aceptación y desarrollo de la contabilidad del “desempeño de la naturaleza para el bienestar humano”. Es decir, no se acepta su valor socioeconómico porque no se estandarizan las unidades de SSAA, ya que primero, no se ha desarrollado la metodología para estimar y valorar cada SSAA.

Intentan demostrar la demanda pública por unas unidades estandarizadas de medida de los ecosistemas, buscando una definición económica de ellas, con el pensamiento de que el objetivo de las políticas sociales es “maximizar el bienestar humano” y no tanto como un objetivo “puramente ecológico”. Por otra parte, comparan su definición con otras existentes, tanto de servicios como de Unidades de Contabilidad Ecosistémica (UCE). Finalmente, ejemplifican su definición con un inventario de SSAA medibles.

Insisten en que todo mundo sabe qué es y cuánto vale un coche o una casa, los cuales tienen su sitio en la contabilidad nacional, porque pueden medirse de dos formas: por precio y por cantidad. Como son cosas que tienen mercado, se tienden a dar por entendidas sus unidades. No pasa así con los SSAA, de los que se tienen tales unidades estandarizadas.

NE (2009) afirma que existen evidencias económicas que sugieren que los beneficios de dar soluciones ecológicas para mantener saludables los ecosistemas, superan los costos de estas, hasta en varias veces más en algunos casos. Entre otros ejemplos, menciona que la gente que vive a 500 m o menos de un espacio verde accesible, es 24% más dispuesta a seguir los niveles recomendados de actividad física; si se reduce la población sedentaria en sólo 1%, podrían reducirse las tasas de morbilidad y la mortalidad que le cuestan a Inglaterra 1.44 billones de libras esterlinas. Otro ejemplo es el ahorro en CO₂ de 3.46 Mt/año que la administración ambiental promueve, y que están valuados en 1.25 billones de libras esterlinas.

La inversión en los ambientes naturales es esencial para obtener sus beneficios, por lo que se necesita de una gran innovación y un enfoque ecosistémico para esa obtención. Para lograr esto, se deberá obtener “un mayor entendimiento del valor económico de la naturaleza y del capital natural y el uso de un enfoque de SSAA para un proceso de toma de decisiones mejor informado; mejorar la inversión pública en el medio ambiente natural para obtener mayor eficiencia y mejores resultados; nuevos mecanismos e instituciones que permitan más SSAA que se conviertan en parte de la economía formal, de forma que se estimule la innovación, empresa e inversiones en su provisión” (NE, 2009).

Por otra parte, Costanza y Farber (2002) manifiestan que “el principal objetivo de la interacción humana con los ecosistemas naturales el sostenimiento de su bienestar”, lo cual lleva implícito tanto sostenibilidad como una distribución justa. Las actividades humanas y su relación con la naturaleza son evaluadas de acuerdo al bienestar humano que producen; por ello, su interacción ofrece datos de lo que la naturaleza contribuye a dicho bienestar, o en otras palabras: la cantidad de bienestar producida por la naturaleza es un indicador relativo de lo que vale para el humano, y que puede usarse como una guía para “el manejo de actividades humanas en ecosistemas naturales”.

Un elemento importante del indicador referido por [Costanza y Farber \(2002\)](#) es la probabilidad de pérdida de servicios naturales importantes; ya que, de acuerdo a Levin (1999, citado por dichos autores), los sistemas naturales no son precisamente frágiles, pues son altamente complejos y adaptativos; en todo caso, lo que es frágil es el mantenimiento de los SSAA de que la humanidad depende, y no existen razones para que los cambios en los sistemas naturales permitan mantenerlos. Esos SSAA permiten la sobrevivencia de la sociedad, pero no existen para eso, por lo que “debemos preguntarnos que tan frágiles son los servicios que obtenemos de la naturaleza, no cuan frágil es ésta”.

La situación de los bosques del mundo de la [FAO \(2009\)](#) reconoce que la demanda de SSAA y de los bienes que provienen de los bosques, así como los ingresos que sus propietarios obtengan de su ordenación, son determinantes esenciales para ordenar dichos recursos. Dedicar un capítulo a la demanda de SSAA, en sus mecanismos de mercado y otros que “se han ido modificando para ayudar a los bosques a satisfacer tal demanda”. Destaca que el **UNEP** se encuentra fomentando un enfoque ecosistémico que busca prepararse ante desafíos como el cambio climático, por lo que es necesario que los SSAA de los bosques se integren a las estrategias de desarrollo “y se tengan en cuenta en la toma de decisiones financieras”. Por ello, se requiere con urgencia “la asignación de un valor monetario” a SSAA como los que participan en la regulación climática, así como al resto de ellos (regulación hidrográfica, la protección ante catástrofes naturales, el ciclo de nutrientes, la energía, el tratamiento de residuos y el aprovechamiento de agua dulce).

Clasifica los mecanismos de mercado de acuerdo con la demanda (a través de la certificación de productos ecológicos) y de la oferta (como los **PSA**), con el objetivo de “situar a los SSAA al mismo nivel que otros productos comercializados y corregir así los perjuicios contra su suministro”. Otros mecanismos son los acuerdos de compensación, que suponen pagos de transferencia, al no poder evitar las afectaciones a los hábitats.

Por otra parte, dentro de la enumeración de los avances tecnológicos, dedica un apartado a la prestación de SSAA. Reconoce que es fundamental aumentar el conocimiento científico para tomar decisiones adecuadas y “garantizar la prestación de SSAA por parte de los bosques”. El primer ejemplo que menciona de esta necesidad, es la escasa información de las “consecuencias económicas en los cambios de los SSAA, la falta de modelos cuantitativos que vinculen los cambios ecosistémicos y los SSAA y la deficiente comprensión de la estructura y dinámica ecosistémicas que determinan los umbrales y los cambios irreversibles”.

Reconoce también que, por la complejidad y variedad de las cuestiones que atañen a los SSAA no comerciales, “es difícil que los científicos influyan en los causantes directos de los cambios (políticos y desarrolladores); pero confían en que un esfuerzo conjunto puede “incrementar la sensibilización”, mejorar el entendimiento de dichas cuestiones, identificar formas y áreas clave para disminuir la incertidumbre, y apoyar la “investigación para que todo ello ocurra”.

Una idea más reciente aportada para la valuación de los SSAA es que ésta depende del espacio y el tiempo de análisis, ya que las personas pueden valorar en forma diferente el mismo SSAA en distintos sitios y/o épocas, incluso siendo la misma población (Haines-Young y Potschin, 2009). Además, estos valores pueden cambiar de acuerdo con la tendencia de factores colaterales de la oferta y la demanda, según ha notado Kontogianni *et al.* (2008, citados por Haines-Young y Potschin, 2009), sugiriendo que sus valores pueden permanecer estables en un periodo de tiempo corto o mediano, con una gran afinidad al cambio a largo plazo.

Ante estas sugerencias, Haines-Young y Potschin, (2009) presentan el modelo en cascada modificado de la Fase II del TEEB, para mostrar en forma esquemática el papel de la valuación económica de los SSAA para el bienestar humano y de los ecosistemas (Figura I.1.4.2-1). Ellos afirman que esta valuación “requiere un entendimiento de qué tipo de beneficios la gente recibe a través de los SSAA y cómo ellos les dan prioridades en términos monetarios comparados con otras cosas. Finalmente, insisten en señalar que, en la economía convencional es el mercado que ampliamente determina los valores de los bienes y servicios tradicionales, pero no sucede así con los SSAA, por el hecho de “la falta de mercado dificulta la captura o estimación de su valor”.

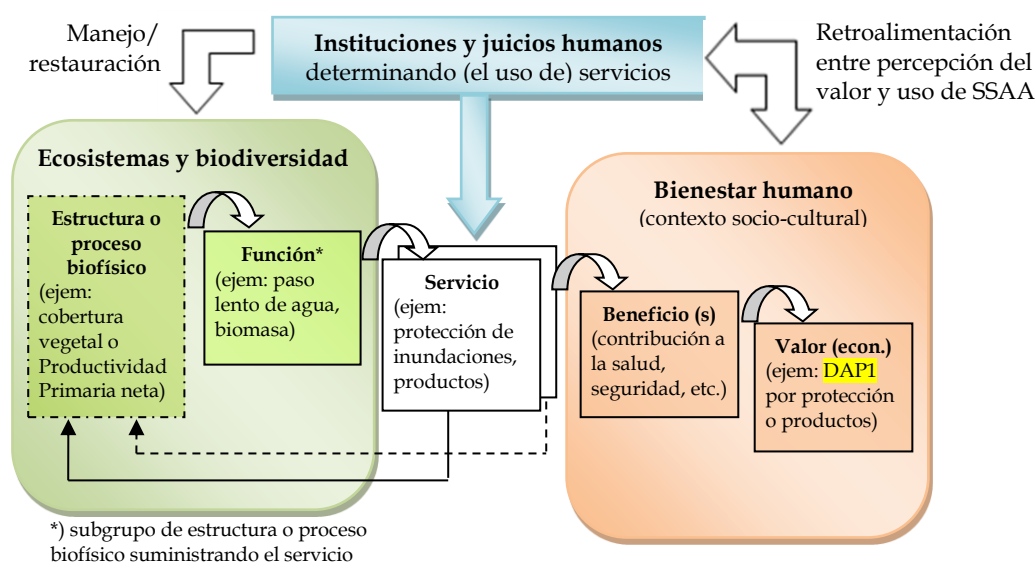


Figura I.1.4.2-1. Modelo en cascada modificado de la Fase II del TEEB, (tomado de Haines-Young y Potschin, 2009, citando a De Groot *et al.*, en prep).

Boyd y Banzhaf (2007), defienden su posición de que deben usarse lo que ellos llaman “unidades contables definidas” para medir “las contribuciones de la naturaleza al bienestar humano”. Señalan que los sistemas contables pueden ser quebrantados por definiciones vagas de elementos, enturbiar sus mediciones y dificultar su interpretación. Por lo cual, y basándose en principios económicos, proponen llamar a estas unidades como “unidad de servicio del ecosistema”, y consideran que deberían estar definidas dentro de los PIB y otras cuentas nacionales, al nivel del resto de los bienes y servicios contabilizados en ellos. Con ello, proponen que sean compatibles con los ingresos nacionales a través de un más claro “PIB verde”, objetivo que es “ampliamente compartido”.

Aclaran que “las contabilidades nacionales no miden el bienestar humano en sí (algo imposible), sino los factores indicadores de ese bienestar”. Como no se mide la economía, sino el valor de la economía en el **PIB**, “la medición de los ecosistemas debe interpretarse como una medida del valor de la naturaleza, no como el valor en sí”.

La carencia de las unidades de servicio del ecosistema estandarizadas ha entorpecido la aceptación y desarrollo de la contabilidad del “desempeño de la naturaleza para el bienestar humano” (Boyd y Banzhaf, 2007). Es decir, no se acepta su valor socioeconómico porque no se estandarizan las unidades de SSAA, ya que primero, no se ha desarrollado la metodología para estimar y valorar cada SSAA.

Boyd y Banzhaf (2007) intentan demostrar la demanda pública por unas unidades estandarizadas de medida de los ecosistemas, buscando una definición económica de ellas, con el pensamiento de que el objetivo de las políticas sociales es “maximizar el bienestar humano” y no tanto como un objetivo “puramente ecológico”. Por otra parte, comparan su definición con otras existentes, tanto de servicios como de Unidades de Contabilidad Ecosistémica. Finalmente, ejemplifican su definición con un inventario de SSAA medibles. Insisten en que todo mundo sabe qué es y cuánto vale un coche o una casa, los cuales tienen su sitio en la contabilidad nacional, porque pueden medirse de dos formas: por precio y por cantidad. Como son cosas que tienen mercado, se tienden a dar por entendidas sus unidades. No pasa así con los SSAA, de los que se tienen tales unidades estandarizadas.

Estos mismos autores opinan que debe crearse un **PIB** verde más claro, que provea una medida adecuada para el bienestar humano, que incluya la producción humana y natural, los SSAA finales son tasados por sus precios virtuales (o la voluntad marginal a pagar), y agregados al **PIB** de la misma forma que los bienes y servicios comerciales. Señalan que en este **PIB** verde deben contabilizarse sólo los SSAA “finales”, con el fin de evitar dobles conteos, pues el valor de los bienes/servicios intermedios es parte del valor del bien/servicio final; esto es análogo a la forma en que no se contabiliza el acero por unidad de automóvil, pues el precio de éste ya lo incluye. Por ello, definen los SSAA-finales como “aquellos componentes de la naturaleza, directamente disfrutados, consumidos o usados para producir el bienestar humano”.

Para ejemplificar, compara la pesca recreativa con la pesca comercial. En el primer caso, además de otros bienes y servicios manufacturados (lancha, caña, transporte), depende de los SSAA tales como el cuerpo de agua adecuado, el paisaje que lo rodea y la población de peces. En la pesca comercial, el valor estético es nulo, pero el valor de la población de peces está incluido en el valor final del producto en el mercado. En la pesca recreativa, también la población de peces tiene ese valor comercial, pero en este caso al mismo tiempo tiene valor como servicio ambiental final, ya que es disfrutado directamente por el humano (Boyd y Banzhaf, 2007). Es decir, si el pescador lo vende o no, ya se “comercializó” el SSAA, contrario a la pesca comercial, que obtiene el beneficio al venderlo.

Una distinción importante es que recalca que los SSAA finales son elementos o características ecológicas, no funciones o procesos (como el ciclo de nutrientes). Si algún artículo comercial A depende de un insumo con valor comercial M y un SSAA (sin

valor comercial, o con valor de no-mercado) S , entonces el valor (precio) del SSAA “puede ser derivado del valor del insumo con valor comercial M y de la *sustituibilidad* de los insumos M y N ”. ¿Qué pasa cuando hay un cambio en N sobre el valor total de A ? ellos lo analizan con derivadas y hablando de valuaciones clásicas de no-mercado. (Boyd y Banzhaf, 2007). Esto para ellos debe ser la base correcta de un PIB verde.

Boyd y Banzhaf (2007) mencionan que los stocks son a menudo una medida de los indicadores de los SSAA, porque para ellos, la definición de “servicios” tiene que ver con la medición de componentes y puede confundirse con el desempeño de alguna actividad. Consideran como fuentes de bienestar el disfrute estético, varias formas de recreación, mantenimiento de la salud humana, protección contra daños físicos, y consumo de alimento y fibra de subsistencia o recolección. Resaltan la importancia de que los SSAA son espacialmente “explícitos”, ya que no se puede cambiar de sitio una población de peces, un lago o un bosque atractivo. La escasez de los SSAA, sus sustitutos y complementos también están diferenciados espacialmente.

Opinan que Daily (1997) se enfocó en definir y clasificar los SSAA como un enlace “entre la ecología y el bienestar humano, no en generar un sistema contable”. Así, la definición de los autores de SSAA finales manejarlos como una “herramienta práctica de medición”. Además, algunos SSAA de Daily entran en esta definición como servicios intermedios (como ejemplo, la purificación de agua, SSAA para Daily y que ellos contabilizan como parte del agua limpia, cuyo servicio puede medirse respecto de la salud, esparcimiento, etc).

Acerca de las mediciones, aconsejan que, en la búsqueda de una mayor economía deberían monitorearse “sólo los productos finales de los procesos ecológicos complejos”, que “por definición son los componentes ecológicos que son consumidos directamente combinados con otros (trabajo, capital) para producir beneficios.” Todos deben medirse en la forma espacial más explícita posible, ya que el valor social de un SSAA depende de su localización en un territorio físico y social.

En su inventario de SSAA, mencionan que la cantidad de cultivos es la medición del SSAA que el territorio tiene por permitir que se produzca esa cantidad. Acerca de las comodidades y satisfacciones, menciona que muchos consideran que como su valor como legado deriva de cuestiones morales, “no puede ni debería expresarse en términos monetarios” (Sagoff, 1997 EN Boyd y Banzhaf, 2007), pero como economistas, saben que “si son expresados como acciones o elecciones humanas, son en principio medibles”.

Más allá del valor económico, o valor comercial que está dado por costos de producción más ganancia, el valor socioeconómico representa el valor que un bien (o servicio) tiene de acuerdo con lo que la sociedad gana o pierde con su existencia o sin ella. Para ello se usan precios sociales para los costos/beneficios, integrando además de los efectos directos, los indirectos y las externalidades (BANOBRA, 2006). En México y otros países latinoamericanos, principalmente Costa Rica y Chile, se ha realizado la valoración socioeconómica de diversos proyectos, especialmente cuando éstos deben llevarse a cabo por entidades públicas, pues es la sociedad la que invierte y obtiene una ganancia o pérdida con la realización del proyecto.

En los países desarrollados, algunos pensadores ecologistas consideran que no debía darse valor económico a los ecosistemas, pues éste es infinito por el sólo hecho de ser imprescindibles para la vida humana es suficiente para conservarlo (McCauley, 2006). No obstante, en las regiones pobres del planeta su objetivo es sobrevivir cada día, por lo que prefieren sacar mayor provecho de lo que tienen disponible, antes que pensar en cuestiones de largo plazo (Lambert, 2003; Cincotta *et al.*, 2000).

Aunado a esto, esas mismas regiones pobres suelen ser más biodiversas y con ecosistemas más extensos y mejor conservados, pero al mismo tiempo más amenazados por las necesidades actuales de sus habitantes. Además, si los gobiernos de regiones más desarrolladas se enfrentan a crisis financieras que no les permiten destinar impuestos a actividades de conservación de ecosistemas (como la administración de ANPs), cuanto más los de esas regiones de mayor pobreza, por lo que ni les es posible frenar e incluso permiten o estimulan la destrucción de ecosistemas (Lambert, 2003).

Como una herramienta de conservación, el mercado (basado sólo en el valor económico o estimaciones directas de su valor) de los SSAA está limitado por varias razones, dentro de las cuales McCauley (2006) menciona las siguientes:

1. La lógica de la conservación basada en SSAA parte del supuesto implícito de que la biósfera es benéfica, que nos provee con servicios útiles y nos protege contra fuerzas abióticas “malévolas”, como huracanes, inundaciones y temperaturas extremas. Esto, por una parte, es ignorar la ecología básica, en la que el medio ambiente no es benéfico sólo para unas cuantas especies, por lo que unas deben “sufrir” para que el ecosistema se mantenga en equilibrio (por ejemplo, animales silvestres que matan humanos, humedales que aumentan el riesgo de enfermedades, etc.)
2. Aunque la mayoría de los conservacionistas pueden argumentar que la naturaleza debería conservarse por siempre, la fortaleza y dirección de las fuerzas mercantiles que actualmente se mueven para motivar su conservación no son perpetuas. Si se asume que la naturaleza sólo tiene valor para ser conservada mientras pueda obtenerse un beneficio económico, las estrategias basadas en ello, se devalúan por la volatilidad de factores de mercado; por lo que se pone en riesgo la conservación por no haberse obtenido ingresos suficientes de dichas estrategias. Entonces ¿cómo se puede convencer a una población local que siga conservando un ecosistema que se ha “devaluado”? ¿cómo evitar que la naturaleza entre en venta de liquidación?
3. “la conservación basada en SSAA cometería la locura de apostar contra el ingenio humano”, ya que la humanidad siempre ha intentado progresar a través de la producción de sustitutos artificiales de la naturaleza o de su domesticación. A veces incluso, el proyecto de conservación va en contra de la economía local, ya que hay ecosistemas que “valen más muertos que vivos” para la población del lugar, como afirma Terborgh (1999, citado por McCauley, 2006) con relación a algunos bosques tropicales.

Se opone a que se le den valores económicos a la naturaleza argumentando que si se piensa en que “la mejor manera de participar de manera significativa los formuladores de políticas impulsadas por los resultados financieros es traducir el valor intrínseco de

la naturaleza en el lenguaje de la economía”, se estaría afirmando algo similar a que “los defensores de los derechos civiles hubieran tenido mayor eficacia si proporcionaran justificaciones económicas de la integración racial”.

En lo particular, el presente trabajo se fundamenta precisamente en proporcionar esa justificación monetaria, a través de la valoración socioeconómica. [McCauley \(2006\)](#) habla de que los políticos y tomadores de decisiones deben considerar la conservación de la naturaleza “como un asunto moral”, puesto que están “acostumbrados a tomar decisiones basadas tanto en la moral como en las finanzas”. No obstante, el objeto de este trabajo es dar una herramienta eficiente para un país en vías de desarrollo, donde se necesitan más que argumentos morales para “convencer a una población local que siga conservando de un ecosistema que se ha devaluado”. Si se les dice en un lenguaje claro (o sea, el monetario), lo que dejarán de ganar o deberán pagar extra si pierden ese ecosistema, seguramente por lo menos lo podrán dejar tal como está. Así funciona en México.

Lo que definitivamente sí aplica en Tamaulipas, como en todas partes, es lo que afirma en cuanto a que se debe confrontar la realidad y ver que la conservación puede ser cara, y algunas veces no habrá “soluciones de ganar-ganar”; por lo tanto, es importante que si se van a obtener beneficios de la valoración de los SSAA “para ayudar a pagar las facturas de la conservación”, es esencial dejar bien claro, como es objetivo de la presente investigación, que lo principal “es proteger la naturaleza” y no el obtener un beneficio económico de ella.

La principal controversia que ha enfrentado la evaluación socioeconómica de los SSAA entre los sectores poco informados de la sociedad es que no es moralmente correcto “poner precio” a la naturaleza; sin embargo, de acuerdo con [King y Mazzotta \(2000\)](#), el objetivo que se persigue es expresar en términos de poder adquisitivo (en moneda) lo que la gente estaría dispuesta a perder (o pagar) para obtener un bien o servicio (o lo mínimo que estaría dispuesta a recibir como compensación por perderlo), si tuviera qué tomar una decisión. En palabras de esos mismos autores, “para efecto de obtener el valor económico de los SSAA, es importante tener en cuenta que medir el valor de algo usando dólares no implica que sean vendido o comprado en el mercado”.

[Emerton y Bos \(2004\)](#) señalan que las cuestiones económicas determinan diversas conductas en la gente y condicionan sus decisiones y sus planes. Cualquier valor expresado en términos monetarios (el dinero común) es un indicador comparable, sencillo y entendible por las personas. No cualquier persona entiende por qué es necesario mantener la cubierta vegetal en un terreno (irónicamente, ¡en Tamaulipas el retirar el monte de un predio es conocido como “limpiar” el lugar!), pero siempre van a entender que, si se retira el monte, tendrá pérdidas económicas porque necesitará más agua para el ganado; pero si lo deja, ahorrará además en electricidad para enfriar o calentar su casa. Los mencionados autores concluyen diciendo que la valuación económica “hace comparables los bienes y servicios ambientales con otros sectores” momento de decidir el destino de las inversiones.

Aunque existen diversas formas de evaluar los recursos naturales, la evaluación socioeconómica es, de acuerdo con [Costanza y Farber \(2002\)](#), de particular utilidad

puesto que las personas manejan una “noción intuitiva del valor económico” de las cosas. Por su parte, el impacto de los sistemas naturales en las actividades humanas generalmente se mide por medio de valores monetarios (como la cosecha de madera o las pérdidas por desastres naturales). Además, el valor socioeconómico puede ser por sí mismo una referencia para regular las actividades humanas, por ejemplo a través de impuestos verdes, pago por servicios ambientales, etc. Sin embargo, debe señalarse que el enfoque antropocéntrico de la valoración socioeconómica de los SSAA no necesariamente excluye el beneficio que tienen sobre otras especies (Aburto, 2003), ya que la gente valora los ecosistemas por razones éticas, altruistas o por su importancia para el planeta.

En México, las primeras reflexiones a nivel nacional se dieron a partir del año 2000, cuando se realizó el Seminario de Valoración Económica del Medio Ambiente, organizado por el Instituto Nacional de Ecología (INE). En dicho evento se establecieron las bases para aplicar metodologías comunes para la valoración económica de los SSAA (INE, 2001)

Es de primordial importancia citar a Romero (1997, EN Aburto, 2003), quien plantea que la valoración económica (conocida en México como “valoración socioeconómica”) de los SSAA **otorga un valor monetario que de ninguna manera representa un precio que alguien pueda pagar por obtener o proveer el servicio**. En este caso se trata de asignar una medida del bienestar o perjuicio que la sociedad experimenta cuando se mejora o se afecta la producción de esos SSAA.

Por lo tanto, la evaluación socioeconómica para este trabajo es una forma de exponer a la sociedad Tamaulipeca lo mínimo que le costaría sustituir los SSAA que actualmente tiene, si los ecosistemas que los soportan perdieran su capacidad de producción. Como las autoridades a cargo de la conservación de los ecosistemas deben tomar decisiones respecto a la distribución de sus presupuestos, que son de carácter económico, las que están basadas –explícita o implícitamente– en valores sociales, por lo que la valuación es útil ya desde el punto de vista de justificación y priorización de sus estrategias (King y Mazzotta, 2000); de acuerdo con Lambert (2003), esto la convierte en una valiosa herramienta para los gobiernos y autoridades para justificar los gastos públicos e instrumentos de política ambiental destinados a actividades de conservación y manejo de ecosistemas.

I.1.6. Métodos socioeconómicos de valuación

Diversas publicaciones se han elaborado respecto a la evaluación de los SSAA, la mayoría dentro del marco de los trabajos de la EEM (2005). Por citar algunos: Farber, *et al.* (2002); Barzev (2003); Hawkings (2003); NRCNA (2004); Kramer (2005); UNECE (2005); Ozdemiroglu, *et al.* (2006); Haines-Young y Potschin (2009); NRCNA (2009); etc. Con ciertas diferencias mínimas entre sí (en algunos casos), sus conceptos y métodos de valuación son del dominio de las ciencias económicas aplicadas al medio ambiente. Por ello, este apartado es una compilación de las sugerencias conceptuales y técnicas para la evaluación socioeconómica de SSAA aplicados en el entorno de la EEM.

I.1.6.1. Conceptos de valuación

Los recursos de la naturaleza son limitados, y su evaluación parte de la forma en que las personas se comportan para atender sus necesidades contando con sólo una parte de dichos recursos. Cuando se elige un uso del recurso, se dejan de satisfacer otras necesidades que ese mismo recurso podría cubrir. Cuando se escoge una opción, se dejan las demás como alternativas, y la mejor de ellas representa el **costo de oportunidad** (el valor de la mejor alternativa a la que se renuncia). Esta elección trae consecuencias en forma de costos y beneficios, por lo que se busca obtener una ganancia tratando de que el beneficio supere a los costos.

Como la decisión se realiza con recursos escasos, cuando se aumenta el consumo de un cierto bien (o servicio), se debe reducir el de otros. La medida de lo que se deja como alternativa para poder consumir una unidad adicional del mencionado bien/servicio se conoce como la **tasa marginal de sustitución**. Cuanto más se posee de ese bien/servicio, menos valor le asignamos a la unidad adicional para conseguirlo.

Para evaluar esas conductas, se tiene en cuenta, en primera instancia la curva de demanda, que representa la **Disponibilidad a Pagar (WTP)**, *psei*, para no confundir siglas con “DAP”, diámetro a la altura del pecho de árboles) por el beneficio de tener una cantidad mayor de cierto bien/servicio. El costo que esto implica se mide con la curva de la oferta, y se conoce como **costo marginal de producción**, mientras que la diferencia entre ambas curvas mide el beneficio neto de esa decisión. El valor monetario presente de todos esos elementos se calcula en tiempo presente, puesto que los montos varían a través del tiempo (**Valor presente neto, VPN**), utilizando una cierta tasa de descuento; en el caso de evaluación socioeconómica, se aplica una tasa especial llamada **tasa social de descuento**, que en México es de 12% y que expresa los costos de oportunidad que el gobierno invierte en los recursos, y que depende de la clasificación de riesgo establecida para el país ([SHCP, 2012](#)).

La [UNECE \(2005\)](#) señala que se da por entendido que los SSAA simplemente se dan en la naturaleza, por lo que son considerados gratuitos, o que tienen un valor muy bajo. La mayoría son externalidades positivas y muchas actividades económicas son dependientes de ellos, pero generalmente no son considerados por los tomadores de decisiones de mercado, debido a que se centran en productos y su materia prima (lo que es apenas una fracción del valor total de los ecosistemas que los producen).

Por lo tanto, el valor económico total de un ecosistema debe sumar todos aquellos bienes y servicios presentes y futuros, con presencia o no en los mercados establecidos, que son generados en dicho ecosistema. Usualmente, esos valores se clasifican en valores de uso y valores de no uso, como se observa en el esquema de la Figura I.1.6.1-1.

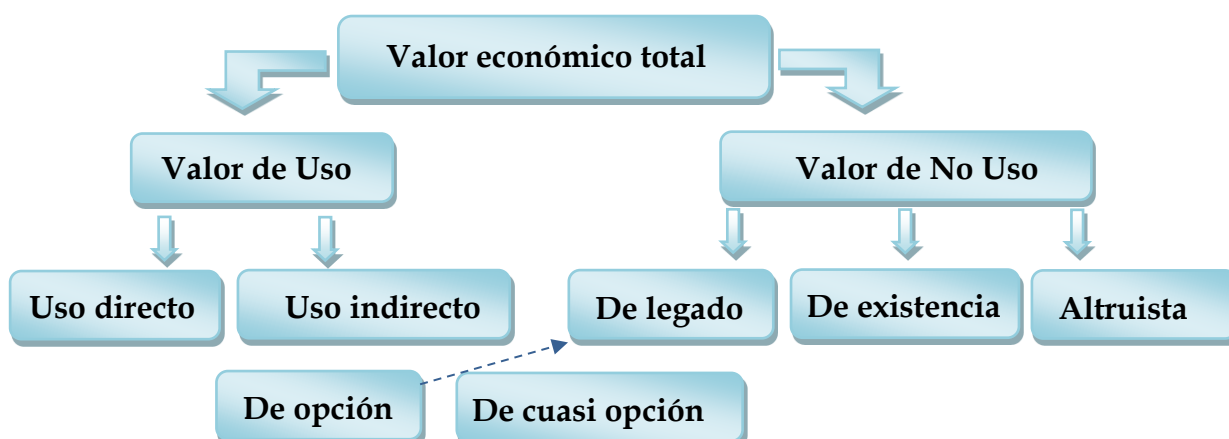


Figura I.1.6.1-1. Composición del valor total de un bien o servicio.

Los valores de uso implican una interacción directa o indirecta con el recurso y cuentan con precios de mercado bien definidos. Los usos directos se refieren al hacer uso del recurso en forma consuntiva (consumo de plantas medicinales) o no consuntiva (uso recreativo de un paraje). En el caso de los usos indirectos se refieren a cuando se obtienen beneficios de los SSAA provistos por un recurso, y no tanto usar dicho recurso (por ejemplo, el secuestro de carbono).

Los valores de no uso se asocian a beneficios que se obtienen “simplemente del conocimiento de que el ambiente natural se mantiene” como tal. No se asocian con usos de recursos o por los beneficios tangibles obtenidos de ellos, aunque es posible que los usuarios le atribuyan también un valor de no uso. Pueden categorizarse como los de legado, que se otorga al conocimiento de que el ecosistema estará disponible a generaciones futuras; el de existencia proviene de la simple satisfacción de saber que ese ecosistema existe, aunque no se tengan intenciones de visitarlo (también se le conoce como “valor intrínseco”); y el valor altruista se deriva de saber que otras personas (contemporáneas) pueden disfrutar de los bienes y servicios de los ecosistemas.

Por otra parte, dos tipos de valoración que usualmente no se asocian directamente a los valores de uso o no uso (aunque IUCIN, 2004 los incluye en los primeros), son: a) el valor de opción, cuando el propio usuario tiene la opción de usar algún aspecto del ecosistema en un futuro, y sólo existe por la incertidumbre de si finalmente lo usará o no (como un tipo de pago por asegurar un coche); IUCIN (2004) señala que el valor de legado es de opción, pero que implica que el valor se genera por la opción de dejarlo a otros usuarios; y b) el valor de cuasi-opción, que es semejante al primero, pero implica la necesidad de una mayor cantidad de información para poder tomar decisiones sobre su uso, como una mejora de la tecnología o de los conocimientos que dé la posibilidad de utilizar exitosamente el bien o servicio (por ejemplo, el potencial que tiene la carga genética de un organismo para producir un fármaco o lograr mejores variedades de cultivo).

I.1.6.2. Métodos para realizar las valuaciones socioeconómicas de los SSAA.

En general, se reconoce que la obtención de un valor monetario objetivo de los SSAA es una tarea desafiante, con diversas limitaciones y algunas veces de difícil aceptación desde el punto de vista social o ambiental. Por ello, su aplicación debe integrar aspectos que enfoquen su importancia para la protección de los recursos y su uso sustentable. Algunos de los métodos empleados son los siguientes:

Método del precio de mercado. No se recomienda para la mayoría de los SSAA, ya que sólo unos cuentan con un mercado (como el almacén de carbono), y su valor se estima basándose el precio establecido para su comercialización. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que son precios no competitivos, que los valores pueden distorsionarse porque suelen tener subsidios (como el agua limpia para consumo doméstico) y que el precio no indica la **WTP**.

Método de la productividad. Evalúa la contribución económica de los SSAA a la producción de bienes con valor comercial. Por ejemplo, la purificación de agua por un ecosistema puede ahorrar los costos de pre-tratamiento al agua de uso humano. Su principal limitación es que el SSAA analizado debe tener relación con el producto comercial, por lo que es necesario un alto conocimiento científico que establezca cuantitativamente esas relaciones, así como la estimación de resultados reales, lo cual suele ser difícil de demostrar.

Los métodos de costos de reemplazo, sustituto o del daño evitado. Contrastan los ahorros obtenidos por el mantenimiento de un ecosistema, contra el costo de reemplazar sus SSAA de forma artificial, o de los daños evitados por pérdida de SSAA, o el de proveer servicios sustitutorios (por ejemplo una planta de tratamiento para purificación de agua). Son sólo valores indicativos, ya que el valor correcto se basa en la medida del monto máximo que una persona tiene como **WTP** por un beneficio, menos el costo real de dicho beneficio. Otra limitación de esta metodología es que no toman en cuenta las preferencias sociales por los SSAA, ni tampoco su comportamiento ante la ausencia de esos recursos. Por otra parte, los reemplazos o sustitutos perfectos para los bienes y SSAA son difíciles de encontrar; y más aún si lo que se requiere es que provean un nivel equivalente de beneficios para la misma cantidad de usuarios.

Los SSAA que son muy valiosos para la gente, como la belleza escénica, carecen de mercado, de forma de reemplazo o de sustitución, o de relación con procesos de producción/consumo. Se trata de los “valores de no mercado”, que pueden ser estimados a partir de métodos de valoración contingente.

El principio de la valoración contingente es preguntar al usuario cuál es su **WTP** por el SSAA en cuestión, o cuál es su disposición para aceptar una compensación por perderlo. Esto bajo la suposición de que dicho SSAA estuviera disponible en el mercado. La mayor ventaja es que, al no estar basado en el mercado real ni en el comportamiento observado, son útiles para evaluar cualquier situación, bien o servicio. Por ello, son los que más se utilizan en las valoraciones de SSAA, especialmente en el caso de los valores de opción y de existencia. Su inconveniente es que se basan en escenarios hipotéticos, por lo que no necesariamente reflejan la realidad, además de que

es controversial porque se basa en lo que la gente quiera responder, lo que puede variar de su comportamiento real.

El método de transferencia de beneficios consiste en tomar un valor que ha sido estimado en otro estudio de un sitio diferente. Se usa cuando no es posible obtener los valores del SSAA en campo, por lo que dependen de la precisión del estudio inicial.

La técnica del precio hedónico indica cómo la presencia/ausencia, la calidad de un ecosistema influye sobre el precio que la gente le otorga o está dispuesta a pagar por los SSAA que tiene.

Por su parte, [Haines-Young y Potschin \(2009\)](#) presentan una lista de métodos de valuación socioeconómica útiles para SSAA. Describen brevemente cada método, sus aplicaciones y limitaciones, así como ejemplos de uso de cada uno de ellos (Cuadro I.1.6.2-1).

Cuadro I.1.6.2-1. Métodos de valuación socioeconómica sugeridos para SSAA (tomado de [Haines-Young y Potschin, 2009](#)).

Método	Aproximación	Aplicación	Ejemplos	Limitaciones
Precios de mercado	Observa los precios directos del mercado	Bienes ambientales y servicios que se comercian	Madera y leña de bosques; agua limpia de humedales	Puede distorsionarse por subsidios. La mayoría de SSAA no tienen mercado
Costos de reemplazo	Estima los costos de reemplazar un SSAA con un servicio artificial	SSAA que tienen servicios artificiales equivalentes, que podrían usarse y proveer beneficios similares	Protección costera, almacén y filtración de agua que realizan los manglares	Sobreestima el valor si la sociedad no está preparada para pagar el reemplazo artificial. Subestima el valor si ese reemplazo no provee el total de los beneficios del SSAA
Costo por daños evitados	Estima el daño evitado por el SSAA	Ecosistemas que proveen protección a casas y otros activos	Protección costera por los manglares y arrecifes; control de flujo de avenidas de ríos por manglares	Dificultad para relacionar los niveles de daño a la calidad del ecosistema
Factor neto de utilidades (<i>net factor income</i>)	Ingresos por ventas de bienes relacionados al medio ambiente menos costos de los insumos	Ecosistemas que proveen un insumo para la producción de un producto comercial	Filtración de agua por los manglares; pesquerías comerciales sostenidas por arrecifes coralinos	Sobreestima valores SSAA
Función de la producción	Estima el valor del SSAA como un insumo en la producción de un producto comercial	Ecosistemas que proveen un insumo para la producción de un producto comercial	Filtración de agua por los manglares; pesquerías comerciales sostenidas por arrecifes coralinos	Dificultades técnicas; altos requerimientos de datos
Precio hedónico	Estima la influencia de características del medio ambiente sobre el precio de productos comerciales	Características del medio ambiente que varían a través de bienes (usualmente casas)	Parques nacionales, contaminación del aire, proximidad a vertederos de residuos	Dificultades técnicas; altos requerimientos de datos
Costo de viaje	Los precios del viaje para acceder al recurso indican su valor	Sitios recreativos	Parques nacionales, áreas marinas protegidas	Dificultades técnicas; altos requerimientos de datos
Valuación contingente	Pregunta a través de encuestas directamente la (<i>WTP</i> por el SSAA)	Cualquier bien o SSAA	Pérdida de especies, áreas naturales, contaminación atmosférica	Alto costo para realizarse
Modelación de elecciones	Pide a los encuestados que intercambien bienes ambientales con otros para obtener la <i>WTP</i>	Cualquier bien o SSAA	Pérdida de especies, áreas naturales, contaminación atmosférica	Alto costo para realizarse; dificultades técnicas
Transferencia de valores	Usa los valores estimados en otros sitios	Cualquier bien o SSAA	Pérdida de especies, áreas naturales, contaminación atmosférica	Posibles errores de transferencia. Pueden ser difícil como técnica de evaluación primaria

I.1.7. Análisis y valuación de SSAA a través de SIG

Como respuesta a los esfuerzos mundiales para proteger el medio ambiente, las universidades de Stanford y de Minnesota, en conjunto con *Nature Conservancy* y *World Wildlife Fund* fundaron el *Natural Capital Project*. La finalidad del proyecto es que los estándares conservacionistas (de organizaciones privadas y públicas) sean más eficaces y eficientes, al incluir los valores que la naturaleza otorga a la sociedad a través de la

prestación de SSAA; esto porque actualmente no se incluyen en los análisis económicos. Aprovechando las ventajas de los **SIG**, desarrollaron un software especializado llamado InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*: Valuación integrada de servicios ambientales y transacciones), que además de poner en un mapa la distribución biofísica de diferentes SSAA, estima su valor monetario y tiene la capacidad de analizar diferentes escenarios para robustecer científicamente la toma de decisiones sobre el ecosistema en cuestión (Más información en <http://www.naturalcapitalproject.org>).

InVEST es una herramienta gratuita, desarrollada en la plataforma ArcGis 9.2 o superiores. La versión 1.005beta (utilizada en este trabajo) contiene diversas herramientas para modelar y valorar los SSAA de almacén de carbono, producción de agua para energía hidroeléctricas, purificación de agua, retención de nutrientes, producción de madera en bosques manejados, polinización de cultivos y un modelo de calidad del hábitat (Tallis, *et al.*, 2010). La versión 2.0 beta incluye algunos SSAA de origen marino-costero, cualidades estéticas y análisis de riesgo del hábitat (Tallis, *et al.*, 2011). El esquema general de manejo de esta herramienta se muestra en la Figura I.1.7-1.

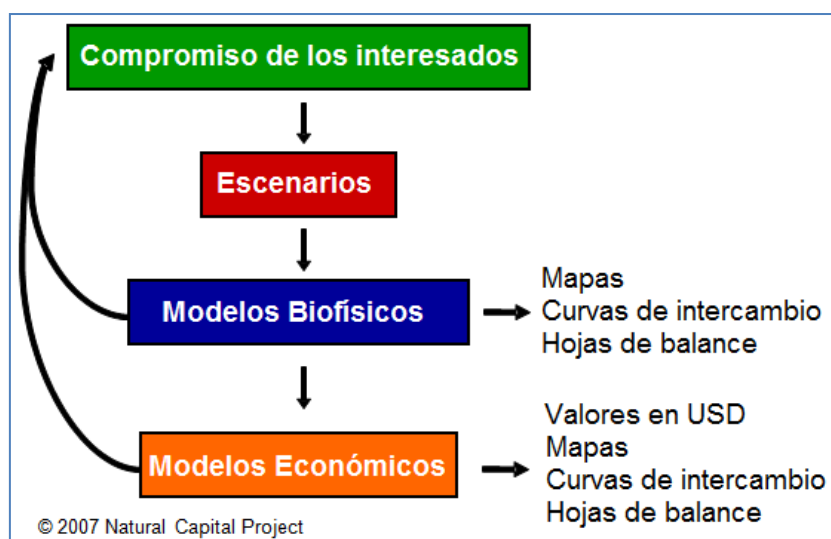


Figura I.1.7.1-1. Esquema general de manejo del InVEST del Proyecto Natural Capital (tomado literalmente de <http://www.naturalcapitalproject.org>)

I.1.8. Pago por Servicios Ambientales (PSA) como herramienta de conservación

Aunque este trabajo no está orientado a plantear una política de **PSA** en la Cuenca, se incluye este apartado debido a que este mecanismo ha sido una de las herramientas usadas con cierto éxito para la conservación de ecosistemas. En cambio, no se excluye que los resultados aquí obtenidos puedan servir como base para una estrategia de **PSA**.

Una forma de conservar adecuadamente las funciones de los ecosistemas es identificar y evaluar sus servicios ambientales, para posteriormente asignarle un valor económico a su uso, como base para cobrar una cuota a sus usuarios. El problema para dicha valoración es la falta de un mercado definido en el que puedan ponerse en venta los servicios ambientales; por lo que, al desconocer sus valores de producción, la sociedad los usa o destruye indiscriminadamente (Torres y Guevara, 2002). En México los servicios ambientales son entendidos como un bien público, que “siempre han estado ahí”, de los cuáles cualquiera puede beneficiarse independientemente de pagar o no por

ellos; ante ello, los estudios para valorarlos son escasos y puntuales, o generalizados pero meramente estimativos.

Como no se les pone un precio, tampoco han figurado dentro de los **PIB** nacionales, aunque algunos países, entre los que se encuentra México, han intentado contabilizarlo en los llamados PIB verdes. A partir de 2007, el principio XIX de la **LGEEPA** (Capítulo 15, Frac. XIX), se plantea que deberá calcularse el Producto Interno Neto Ecológico por medio “de la cuantificación del costo de la contaminación del ambiente y del agotamiento de los recursos naturales provocados por las actividades económicas en un año determinado”. Aunque en estos casos, se incluyen como un *stock* de bienes, expuestos a depreciación/apreciación.

Más específicamente, en el Código para el Desarrollo Sustentable del Estado de Tamaulipas ([CETam, 2008](#)) contemplaba en su Artículo 23 el diseño, desarrollo y aplicación de instrumentos económicos, para, entre otros objetivos: “Fomentar la incorporación de información confiable y suficiente sobre las consecuencias, beneficios y costos ambientales al sistema de precios de la economía”, así como “promover una mayor equidad social en la distribución de costos y beneficios asociados a los objetivos de la política ambiental”.

La complejidad para realizar dichos estudios en forma tradicional e interdisciplinaria generalmente provoca que sus costos sean muy altos y casi inaccesibles a una sociedad en vías de desarrollo; por eso es que no se llevan a cabo, lo que a su vez resulta en el fracaso de los proyectos públicos, obstaculizando el progreso regional debido a que la sociedad no valora su importancia, pues no afecta directamente su bolsillo.

De todo ello, los técnicos y científicos dedicados a las actuales valoraciones para **PSA** ([Corbera y González, 2007](#)) han expuesto la necesidad de que la sociedad reconozca y valore propiamente los SSAA, adecuando los instrumentos legales y de mercado local e internacional, así como de incorporar el componente socioeconómico. Además, apuntan que se debe organizar la información en sistemas geográficos para contar con una forma más clara y práctica de dónde se encuentran áreas prioritarias con SSAA. Esto permitiría además estudios de mercado y de los productos ofrecidos (SSAA) con una fuerte base científica, y que además pueda estar explícita y clara a las autoridades, los inversionistas, a las comunidades involucradas y al público en general.

Aunque el desarrollo local y regional de un territorio se encuentra condicionado por su disponibilidad de recursos naturales, son sus políticas de gestión las que pueden lograr que se alcance el uso sostenible de dichos recursos ([GIOT, 2000](#)). El éxito de tales políticas sólo podría garantizarse si se basan en el estudio integral de sus ecosistemas, de su medio económico-cultural y de su entorno socioeconómico.

Para [Vorhies \(1997\)](#), es una herramienta con la que se estiman los beneficios de la conservación de los ecosistemas, así como la distribución de los mismos entre las personas que de alguna forma se interesan en ellos (también llamados “actores”, “grupos de interés” o “*stakeholders*”); con ello, se está en la posibilidad de comprender las oportunidades y amenazas que rodean al ecosistema en cuestión.

Una idea que aclara el estudio económico de un ecosistema es mirarlo como si éste fuera un negocio: ¿Quiénes son y cómo son y se distribuyen los clientes o “*stakeholders*”? ¿qué bienes y/o servicios demandan del ecosistema? ¿cuál puede ser su forma de pago? ¿pueden convertirse en una amenaza cuando sus intereses se oponen a la conservación del ecosistema? ¿cómo se pueden compensar? ¿existen mercados ilegales de los bienes y servicios del ecosistema? (Vorhies, 1997).

De acuerdo con Vorhies (1997), Si se identifican los costos y beneficios con respecto a los comercios locales ganen por conservar los recursos naturales, habrá una mayor capacidad de los actores para minimizar las amenazas y al mismo tiempo incrementar los rendimientos (beneficios netos) de conservar el ecosistema. Pare ello, las adecuadas técnicas de evaluación exponen, además de los beneficios del uso directo (consuntivo y no consuntivo), el valor comercial (o de mercado) y el impacto a mayor escala en la economía local y nacional.

I.2. Algunos antecedentes de valoración de SSAA.

Como se mencionó, en 1970 se estableció el término de “servicios ambientales”, a través de un estudio de problemas críticos medioambientales, elaborado por un grupo de científicos coordinados por el Instituto Tecnológico de Massachusetts, cuyo objetivo principal fue el de conocer las consecuencias de la contaminación y sus consecuencias sobre el clima, ecología marina y los grandes ecosistemas terrestres (SCEP, *Study of Critical Environmental Problems*, 1970, citado por Daily, 1997).

Uno de los estudios pioneros y que más polémica causaron en cuanto a la valoración de SSAA fue el de Costanza, *et al.*, 1998. Mencionan que, aunque ya para entonces se llevaban décadas estudios de valoración para una amplia variedad de SSAA, ellos fueron los primeros en obtener una tasación del valor económico actual (1997) de diecisiete SSAA en dieciséis biomas del mundo, basándose tanto en diversas publicaciones como en análisis propios. La polémica se desencadenó porque este grupo estimó que, el valor *mínimo* de la biósfera entera del planeta va 16 a 54 trillones de USD anuales (la mayor parte de ellos sin valor de mercado). Como punto de comparativa, mencionan que el PIB global total alcanza alrededor de 18 trillones de USD anuales.

Su principal señalamiento es que, como los SSAA no tienen valor comercial en su totalidad, su importancia en las decisiones políticas es escasa o nula. Consideran a este hecho como una negligencia que “puede, a fin de cuentas, comprometer la sostenibilidad de los humanos en la biósfera”.

En el año 2002, Barzev obtuvo una valoración económica integral de los bienes y servicios ambientales de la Reserva del Hombre y la Biosfera de Río Plátano en Honduras. Entiende los SSAA como las funciones del ecosistema y los Bienes Ambientales como las materias primas para las actividades humanas. Dentro de los primeros, analizó los valores económicos para la fijación del carbono y la belleza escénica en actividades turísticas, basándose en los precios comerciales de recurso carbono y de pagos por turismo. Dentro de los segundos, se basó en los precios de mercado para obtener el valor económico del agua de uso doméstico, la madera, la leña y carbón, la ganadería y productos agrícolas.

En el Perú, [Ventura \(2003\)](#) realizó una valoración económica de los bienes y servicios ambientales de las Praderas Altoandinas, basándose en los valores de uso y no de uso que identificaron para cinco SSAA prestados por las praderas: producción de forrajes, reserva de agua, retención de sedimentos y nutrientes del suelo, captura de carbono y condiciones para la crianza de camélidos.

Por otro lado, [Brenner \(2007\)](#), estimó el valor de no-mercado de los SSAA prestados en la zona costera catalana, en términos monetarios. Estudió las tres dimensiones principales para el manejo integrado de zonas costeras en Cataluña: socio-económico, natural y administrativo. Se enfocó en las funciones y servicios no contabilizados con valor de mercado, de carácter natural y semi-natural tanto terrestre como marino. Clasificó el territorio en cuatro unidades homogéneas de manejo ambiental (de las comarcas menos naturales y más desarrolladas a las más naturales y menos desarrolladas).

[Brenner \(2007\)](#) usó una función espacial de transferencia de beneficios para estimar la contribución anual de los SSAA al bienestar de la población. Transfirió valores y otros datos (obtenidos empíricamente) desde el sitio de estudio original al sitio político presente (de acuerdo a Loomis, 1992 y a Desvougues *et al.*, 1998, citados por [Brenner, 2007](#)). Puede usarse para estimar el valor monetario de SSAA relativos al bienestar humano. Estos métodos son internacionales, y asumen que el valor económico de servicios/bienes ecosistémicos del sitio estudiado puede ser inferido con suficiente precisión a partir del análisis de estudios de valoración existentes de otros sitios (Ready y Navrud, 2006, EN [Brenner, 2007](#)).

A cada uso de suelo, [Brenner \(2007\)](#) le asignó los SSAA (y su correspondiente valor monetario) que encontró en la literatura para cada uno de ellos. Estos fueron seleccionados de acuerdo con su similitud al área de estudio, que estuvieran basados en el uso no consuntivo de los recursos y SSAA (por ejemplo, de no mercado), y que estuvieran expresados en valores que pudieran trasladarse al **SIG** (ejemplo: **USD/Ha**). Estimó que el valor de los SSAA en el sitio estudiado es de 2,572 millones de euros (de 2004) con una notable variabilidad de acuerdo con los diferentes usos del suelo, destacándose como los de mayor contribución el bosque en la porción terrestre y la placa continental en la porción marina. El costo de reemplazar estos SSAA en el área de estudio implicaría un aumento anual de 2.7% en el **PIB**.

Con índices ecológicos, de fragilidad y de huella humana (*human footprint*) [Brenner \(2007\)](#) construyó el índice de capacidad de provisión de SSAA, que constituyó el poder de sustitución (*proxy*) de la capacidad de los ecosistemas para aportar sus servicios a la población en porción terrestre, estimándose un flujo de SSAA con un valor de 2712 M€, lo que representa un incremento de más de 42% de incremento que el del valor de preferencia individual terrestre. Encontró que ambos procesos de valoración tienen una estrecha relación espacial con las unidades homogéneas de manejo ambiental. Usó un método de valoración integrada para reducir los sesgos humanos (vía preferencias declaradas), y con ello obtener una estimación más real del flujo de SSAA.

Brenner (2007) concluye que estimar el valor económico de los SSAA no capitalizados en el mercado, se revelan los costos/beneficios sociales que de otra forma son inapreciables o permanecen ocultos. Además, “hacer más explícita la contribución al bienestar humano de los SSAA y las funciones del ecosistema que los mantienen, podría motivar políticas que promuevan una sostenibilidad integrada”.

Por su parte, Baral *et. al.* (2009) se basaron en un SIG para realizar el mapeo, clasificación y valuación de SSAA para unos terrenos productivos en el sur-este de Australia. Aplicaron técnicas de valuación de mercado y de no mercado, incluyendo transferencia de valores ecológicos, con lo que obtuvieron unos lineamientos para estimar el valor de algunos SSAA seleccionados por su disponibilidad de información necesaria para el análisis (madera, carbono, regulación de agua y biodiversidad).

Dichos autores usaron la cartografía de cobertura del terreno, con mapas de uso del suelo y de la vegetación categorizada en clases ecológicas desarrolladas por el *Victorian Department of Sustainability and Environment*; estas clases corresponden a vegetación nativa agrupada de acuerdo con grandes elementos paisajísticos y con regímenes ambientales. Cabe mencionar que estas clases son equivalentes a la zonificación ecológica del GIOT (2000) en México. Además, Baral *et. al.* (2009) Identificaron los SSAA que produce cada clase ecológica, de acuerdo con el método de transferencia de valores ecológicos; aunque cabe mencionar que no tomaron en cuenta otros detalles importantes como la pendiente, tipo de suelo o topoforma, que consideran importante en la variación de producción de SSAA. Posteriormente cuantificaron y asignaron los valores económicos a las clases: cada valor de SSAA se cruza con cada bien y servicio y tipo de suelo, produciendo un mapa del valor económico total, siguiendo la ecuación de Troy and Wilson (2006, citado por Baral *et. al.*, 2009) para un ambiente SIG:

$$V(ES_i) = \sum_{k=1}^n A(LU_i) \cdot V(ES_{ki}) \dots (i)$$

Donde $A(LU_i)$ = área de cada tipo de uso/cobertura del terreno (i), y

$V(ES_{ki})$ = valor anual por unidad de área de cada tipo (k) generado por cada (i)

Baral *et al.* (2009) encontraron que, aunque los SSAA presentaban diferente distribución espacial, presentan distintos valores altos en varios de los servicios. Como era de esperarse, las plantaciones obtuvieron los más altos valores económicos por unidad de área; esto debido principalmente a que disponen de valores más detallados para los servicios de consumo. Justifican que las áreas con vegetación nativa resultaran con bajos valores económicos, porque usaron valores que dan a la conservación algunas iniciativas gubernamentales, por lo que “no reflejan el verdadero valor de toda la vegetación nativa y el valor de otros servicios tales como el control de la erosión y la regulación del agua” que no se analizaron.

En lo referente a valoraciones de SSAA específicos, existen diversos casos en Iberoamérica. Por mencionar algunos ejemplos, y en orden temporal se tiene en primera instancia el elaborado por Montoya *et al.* (1998). Este grupo midió y evaluó la captura de carbono en los ecosistemas forestales de las zonas indígenas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas, en México. Ellos obtuvieron valores de 1.3 a 11.1 USD por tonelada de carbono capturada en su zona de estudio. Por su parte, Elorrieta y Castellano (1999)

realizaron una valoración integral de la conservación de la biodiversidad de la comunidad foral de Navarra, en España. Utilizaron los métodos del coste de viaje y de valoración contingente, adecuados para valuaciones ambientales. Consideran con ello que sus resultados son un valor social, el cuál cuantifica las preferencias de la sociedad de Navarra en su conjunto. Analizaron el valor que la sociedad otorga a los ecosistemas como “generadores de bienes privados”, en lugar de darles un valor de mercado a los mismos. Sus resultados arrojan que un 64% del valor global de la biodiversidad navarra se basa en bienes sin valor de mercado.

En cuanto a la valoración de servicios hidrológicos, son los de mayor abundancia por el incremento en la sensibilización pública acerca del valor del agua. Como ejemplos, destaca primero el caso de un estudio titulado “Valoración Económica del Servicio Ambiental de Regulación Hídrica del Lado Sur de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas, Guatemala” (Hernández *et al.*, 2002). A través de un modelo hidrológico analizado en ambiente SIG, los autores obtuvieron información de la producción de agua del bosque (el balance hídrico), determinando la fluctuación estacional verano/invierno y los cambios de cobertura forestal. Con esta base, calcularon los costos de la “regulación hídrica” del agua: de oportunidad, de protección y de establecimiento del bosque. Contemplaron tres escenarios para calcular el valor del agua a través de proyecciones financieras: cobertura forestal actual, cobertura densificada por reforestación y eliminación del bosque. Finalmente, analizan los efectos de la regulación hídrica sobre desastres naturales, así como de las perspectivas de usuarios domésticos y de riego.

Como resultados, obtuvieron que, de eliminarse la cobertura forestal en la zona, se reduce un 18% el caudal del río en el verano, al tiempo que la vida útil de la infraestructura de puentes cae hasta un 50%. Encontraron que la tarifa por el servicio ambiental de regulación hídrica promedio por metro cúbico de agua durante verano de \$ 0.03 USD, lo cual corresponde a un valor de \$188.30 USD /Ha año.

En Nicaragua, Aburto (2003) valoró económicamente el servicio ambiental hidráulico de una micro-cuenca en el Departamento de Chinandega. Aplicó la metodología de valoración contingente, obteniendo a través de una encuesta la disposición a pagar de los consumidores y la voluntad a negociar de los proveedores, aplicando la Disposición a Aceptar Compensación. Con estos datos, estimaron el valor del metro cúbico del agua desde la demanda, en \$0.135 USD/m³ y desde la oferta en \$0.057 USD/m³, ya que es considerado como un bien con cierta escasez en la comunidad estudiada. Encontraron que el valor que resultó de mayor rentabilidad económica fue de \$0.192 USD/m³, que fue ajustado ambientalmente para incluir un 70% en costo de distribución y 30% por el servicio ambiental hídrico.

Sanjurjo y Carrillo (2006), a través de la aplicación de un esquema de Valor Económico Total (de Pearce y Turner, 1995), así como de técnicas de valor contingente, evaluaron los beneficios económicos que aporta el flujo de agua en el delta del Río Colorado, en los estados mexicanos de Sonora y Baja California. Para estimar el valor Económico Total de los afluentes, integraron los valores de uso pasivo y de uso activo arrojados a través de una encuesta aplicada a habitantes y turistas de la zona. Los pobladores del área de estudio pudieron asignar un valor a la presencia de agua en el río por razones

que incluyen vistas paisajísticas, cuestiones de identidad local, pesquerías y opciones turísticas y recreativas, así como otros usos pasivos que se manifiestan a través de donaciones explícitas enfocadas a conservar el flujo del río (especialmente del lado estadounidense).

De esta forma, estimaron que el valor de los beneficios derivados por la presencia de agua en el Delta es de \$38 millones de **MXN** anuales, considerando que esta es una “cifra conservadora”. El análisis costo-beneficio arrojó un valor de \$2.28 **MXN** de ganancia por cada peso invertido en mantener el flujo de agua en el río, lo cual se traduce como un excelente negocio si fuese de carácter privado, pero que al ser de carácter público, el estado debe invertir en proveer este servicio ambiental a los habitantes de la región.

[Mathis, et al. \(2004\)](#) estimaron el valor del agua por su importancia en las actividades ecoturísticas del sur de Texas (EEUU), en relación a la sostenibilidad del ecosistema. Obtuvieron que el agua tiene un valor por este concepto equivalente al 3% de los gastos directos asociados al ecoturismo; este es el porcentaje promedio obtenido en una valoración contingente, en el que preguntaron de forma expresa lo que los turistas estaban dispuestos a pagar por “el promedio de agua mínimo de agua que el ecosistema necesita para mantenerse sano”. Como la región capta en promedio 150 mil ecoturistas anualmente, estimaron que el valor del agua para la región alcanza 5.7 millones de dólares anualmente.

A partir de los diferentes convenios sobre el paisaje y su importancia para la sociedad (como el Convenio Europeo del Paisaje, CEP, ratificado por España en [BOE, 2008](#)), diversas metodologías de evaluación se han planteado, especialmente en países europeos. Por citar algunos: el *Landscape character assessment* ([Swanwick, 2002](#)) para Inglaterra y Escocia; la Propuesta para una metodología de análisis del turismo rural y medio ambiente ([Junta de Andalucía, 2003](#)), para el territorio Andaluz; el *Prototipus de catàleg de paisatge* ([Nogué y Sala, 2006](#)) para Cataluña; las Líneas para la aplicación y desarrollo del Convenio Europeo del Paisaje en España ([Zoido, 2008](#)); y el *Character and Quality for England's Landscapes* ([NE y DEFRA, 2010](#)).

Estudios específicos aplicados a la valoración del paisaje se llevan a cabo en diferentes partes del mundo. En Portugal, anterior a la promulgación del CEP, [Saraiva \(1999\)](#) estudió la forma en que la población valora los paisajes de un río, como una forma de gestión de los sistemas fluviales en la gestión del territorio. En los Alpes suizos, ([Grêt-Regamey, et al., \(2007\)](#)) evaluaron el comportamiento de la valoración económica de las vistas panorámicas cuando disminuye su calidad paisajística. [Flores et al. \(2008\)](#), estudiaron en España la conveniencia de implantar un sistema de pago por servicios ambientales de belleza escénica en un espacio natural protegido.

En el continente americano, [Daniel, et al. \(1989\)](#) encontraron una relación directa entre la belleza escénica de bosques estadounidenses y la voluntad a pagar por disfrutarla en parajes de campismo. [De la Fuente, et al. \(2004\)](#), analizaron las preferencias paisajísticas y la calidad escénica en el sistema precordillero andino de Chile, encontrando que los más valorados son los de mayor variabilidad estructural y visualmente, especialmente en los que se percibe “orden, legibilidad y coherencia”. También en EEUU, [Mathis, et al.](#)

(2004) estimaron el valor que aporta la preservación de los ecosistemas y su producción de agua para el ecoturismo, en el Valle del Río Grande.

En México, [García, et al. \(2005\)](#) estimaron el valor del paisaje en la selva baja caducifolia al suroeste del país. Usaron cuatro indicadores de valor, como son la sensibilidad de laderas, la fragmentación de coberturas de vegetación, la calidad visual y el significado social del paisaje. Encontraron una importante variedad en su valoración de los sistemas paisajísticos estudiados, pero tiende a ser mayor en los subsistemas montañosos de selva y bosque. [Cantú, et al. \(2011\)](#), estimaron el valor económico del ecoturismo para observación de aves en México y EEUU; reportan que, en el primero, la observación de aves es 54 veces más redituable que el aprovechamiento por su captura, siendo esta relación mayor que la observación de ballenas o de tortugas marinas.

En Tamaulipas, estudios pioneros en ecoturismo se dan en la región sur, especialmente con relación a la Reserva de la Biósfera de El Cielo (El Cielo). En 1995, [Walker](#) estudió el impacto del ecoturismo incipiente en El Cielo, y diez años después, [Medellín \(2005\)](#) presenta un informe de los avances y logros del desarrollo de la actividad en esa reserva. En la región de Tampico, [Sánchez y Propin \(2005\)](#) analizaron el turismo en general para la zona metropolitana. Mientras que, en el altiplano, [Monita \(2010\)](#) estudió la forma en que influyen los procesos de comunicación sobre el ecoturismo como opción de desarrollo en la zona semiárida del sur de Tamaulipas.

1.2.1. Estudios de SSAA en la Cuenca Guayalejo-Tamesí.

[Adame y Garza \(2003\)](#) estudiaron la disponibilidad de agua en la cuenca, así como una estimación a futuro, contemplando un aumento al doble de la concentración de CO₂ atmosférico. Encontraron en primera instancia, una disminución de precipitación de 9.5% y un incremento en la temperatura de hasta 1.76°C en verano; mientras que en invierno estiman un aumento de precipitación de hasta 15%. Ante el aumento estimado de temperatura y los aprovechamientos del líquido, la disponibilidad de agua tiende a disminuir en 16%, comparado con el escenario testigo. Sus resultados sugieren no incrementar el aprovechamiento industrial del agua en más de 1% anual, pues aún con esto, se presentarían problemas de disponibilidad en primavera e invierno; mientras que la dotación por habitante disminuiría de 380 a 235 litros diarios.

[Vera \(2004\)](#), por su parte, estudió la cuenca desde el punto de vista socio-político, enfocado a la gestión del recurso hídrico. Describe cómo se conforman las estructuras administrativas y la distribución a los distintos usuarios del recurso. Resalta la importancia de las transacciones entre las zonas agropecuarias y las zonas boscosas que producen el SSAA de provisión de agua, pues reconoce que la conservación de estos sitios depende en gran medida del abasto del recurso hacia las zonas agropecuarias.

En un estudio más específico, [Cervantes, et al. \(2005\)](#), analizaron la cobertura del suelo en la cuenca, usando la serie II de vegetación y uso del suelo del INEGI, así como imágenes Spot de 1996, 2003 y 2004. Como resultados reportan las superficies de cada clase, donde destacan la agricultura de temporal y la selva baja caducifolia.

En su publicación, [Jiménez et al. \(2007\)](#) describen las primeras fases de ordenamiento ecológico de la cuenca. Además, elaboraron un balance hídrico por microcuenca, basándose en las normas oficiales mexicanas para determinar la disponibilidad media anual del recurso hídrico. Enlistan diferentes criterios de ordenamiento para las cuencas alta y baja, los cuales son ejemplo de lo que deberá aparecer en el documento oficial; sin embargo, aunque el proyecto se inició en 2004 con financiamiento de la Comisión Federal de Electricidad y la SEMARNAT (<http://www.cidiport.com.mx/index.php/proyectos>), a la fecha se encuentra enlistado como “proyectos de investigación con financiamiento externo en operación durante 2012” por la UAT (http://www.posei.uat.edu.mx/investigacion/Proyectos_Operacion.html), por lo que no se han publicado otros resultados del mismo.

Tomando como base los estudios de OET de [UAT, et al. \(2005\)](#), [Requena \(2007\)](#), desarrolló como parte del diagnóstico ecológico de la Cuenca Guayalejo-Tamesí, el indicador ambiental cualitativo de “áreas con potencial de pago por servicios ambientales”. Obtuvo que el 4.5% de la superficie de la Cuenca pertenece a zonas con alta biodiversidad, representadas por siete polígonos de ANP, AICAs y RTP señaladas por [CONABIO \(2008\)](#). Para las zonas con alto índice de captura de carbono, encontró que 13.2% de su territorio presenta bosques y selvas en algún estado de sucesión. Las áreas propias para pago por recarga de acuíferos fueron aquellas con los valores superiores de escurrimiento, producto del balance hídrico (950 mm o más), que representan el 27.5% de la cuenca.

Reconociendo la riqueza biogeográfica presente en la Cuenca Guayalejo-Tamesí, se estableció a partir de 1985 la reserva de la biósfera “El Cielo”, ubicada en la cordillera central de la cuenca y que forma parte del programa Hombre y Biósfera de la UNESCO. Ésta, en conjunto con otros seis espacios naturales de importancia para la conservación (no todos protegidos bajo una figura legal en México) ocupan apenas el 4.5% de la cuenca, por lo que, según las conclusiones del estudio de ordenación territorial de [Requena \(2008\)](#), ésta superficie indica no ser suficiente para una adecuada protección y conservación de los ecosistemas en la cuenca.

I.3. Hacia la evaluación socioeconómica de SSAA en la Cuenca

[Liu, et al. \(2007\)](#), afirman que un problema en la valoración de los ecosistemas es que la separación tradicional de los estudios sociales, ecológicos y económicos ha obstaculizado en gran parte el progreso de los países, puesto que los sistemas humano y natural son integrales e interactivos. En este contexto, y dando un paso más adelante, [Robertson y Wunder \(2005\)](#), proponen una evaluación económica de los ES desde una perspectiva geográfica, en la que se incluye una suma de mapas de costos de oportunidad a otros como amenazas y prioridades, así como el presupuesto de los PSA, para así dar una categorización de los pagos según su importancia en cuanto a servicios ambientales.

Sin embargo, es necesario recalcar las implicaciones éticas y morales que surgen cuando se asignan valores monetarios a los SSAA, especialmente cuando tienen valores de no-uso ([Acharya, 1998](#)); generalmente estas implicaciones se vuelven conflictivas cuando se plantean sin conocimiento previo de la evaluación socioeconómica. Por ello, es importante el entendimiento claro de la diferencia entre los valores económicos y los

socioeconómicos. De acuerdo con el citado autor, los primeros se determinan por la percepción individualista de lo que es el bienestar propio; esto no necesariamente coincide con lo que son los valores de un ecosistema y los SSAA que presta (como se dan a la sociedad, se consideran como “socioeconómicos”). Continúa señalando que lo que se mide (con el monto económico de tales SSAA) es la contribución que tales ecosistemas aportan cuando se mantiene el actual nivel de bienestar humano. Finalmente, alude a Freeman (1993) y a Bockstael *et al.* (1998) mencionando que es simplemente “una medida de lo que los individuos perciben que es redituable o útil del bien o servicio que están evaluando”.

Ante este panorama y a la vista de la riqueza biogeográfica y de servicios ambientales de la cuenca, así como su propuesta de ordenación territorial, surge la necesidad de mostrar -en forma sencilla y eficiente- a los tomadores de decisiones la importancia socioeconómica que éste vasto territorio presenta por los servicios ambientales que presta. Es así que el uso de los **SIG** cobra aquí particular importancia, ya que son capaces de mostrar hechos y procesos territoriales en forma sencilla, eficiente y de bajo costo (en tiempo y recursos) relativo, lo cual es de importancia vital cuando se trata de una investigación compleja en un país en vías de desarrollo como México. Con ello, es posible obtener estrategias territoriales y fundamentos de decisión para crear políticas de ordenación territorial y de conservación ambiental.

I.4. OBJETIVOS

I.4.1. General

Expresar, a través de un **SIG**, el valor socioeconómico que cada porción del territorio de la Cuenca Guayalejo Tamesí presenta debido a los servicios ambientales que contiene, sugiriendo estrategias básicas para su manejo y conservación.

I.4.2. Específicos

- ❖ Desarrollar y aplicar una metodología para obtener un mapa actualizado de la vegetación y uso del suelo en la cuenca
- ❖ Identificar la distribución espacial y características de los servicios ambientales en la cuenca.
- ❖ Desarrollar y aplicar una metodología para obtener el valor socioeconómico de cada uno de los servicios ambientales presentes en la cuenca.
- ❖ Integrar el valor socioeconómico total de los servicios ambientales en un **SIG**
- ❖ Proponer estrategias de ordenación y gestión del territorio de acuerdo con su valor socioeconómico-ambiental que permitan su adecuado uso, manejo y conservación.

CAPÍTULO II

EL ÁREA DE ESTUDIO

TAMAULIPAS Y LA CUENCA GUAYALEJO - TAMESÍ



*“Y alegre se fue cantando
por el filo de la sierra
¡Tamaulipas es mi tierra!
para el que lo ande dudando”*
(fregmento de El Cuerudo Tamaulipeco, canción popular)

II.1. El Estado de Tamaulipas

Tamaulipas se ubica en el noreste del territorio mexicano, limitando al norte con Texas (en Estados Unidos) y al oriente con el Golfo de México (Figura II.1-1). Cuenta con una superficie de 79,337 kilómetros cuadrados y una población de 3'268,554 personas (INEGI, 2010).

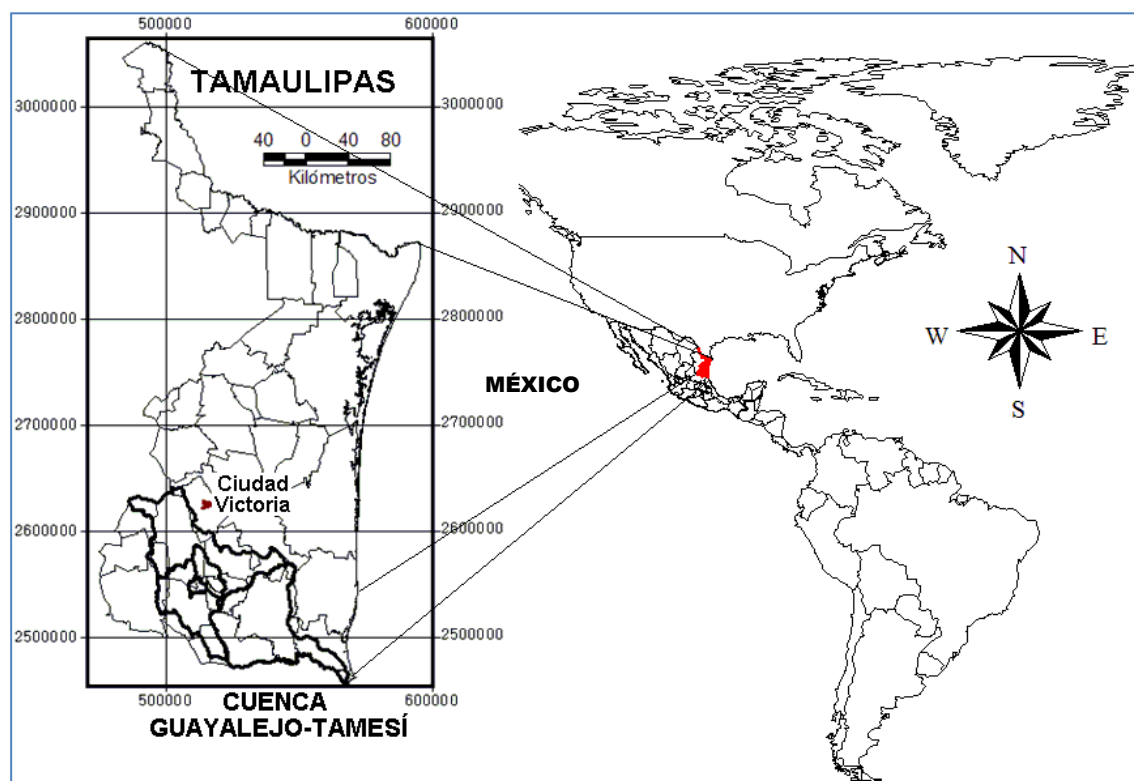


Figura II.1-1. Localización del Estado de Tamaulipas y la Cuenca Guayalejo-Tamesí.

La configuración orográfica del territorio tamaulipeco se conforma por una vasta planicie costera, que en su gran parte acaba en la Sierra Madre Oriental; esto, aunado a su ubicación sobre el Trópico de Cáncer, le da las condiciones climáticas y edafológicas suficientes para mantener una significativa riqueza ecosistémica tal que pasa de hábitats semidesérticos, hasta selvas semisecas y húmedas, bosques templados y semifríos, así como manglares y dunas costeras. La Figura II.1-2 muestra la distribución espacial de los principales tipos de vegetación y el porcentaje de su cobertura espacial.

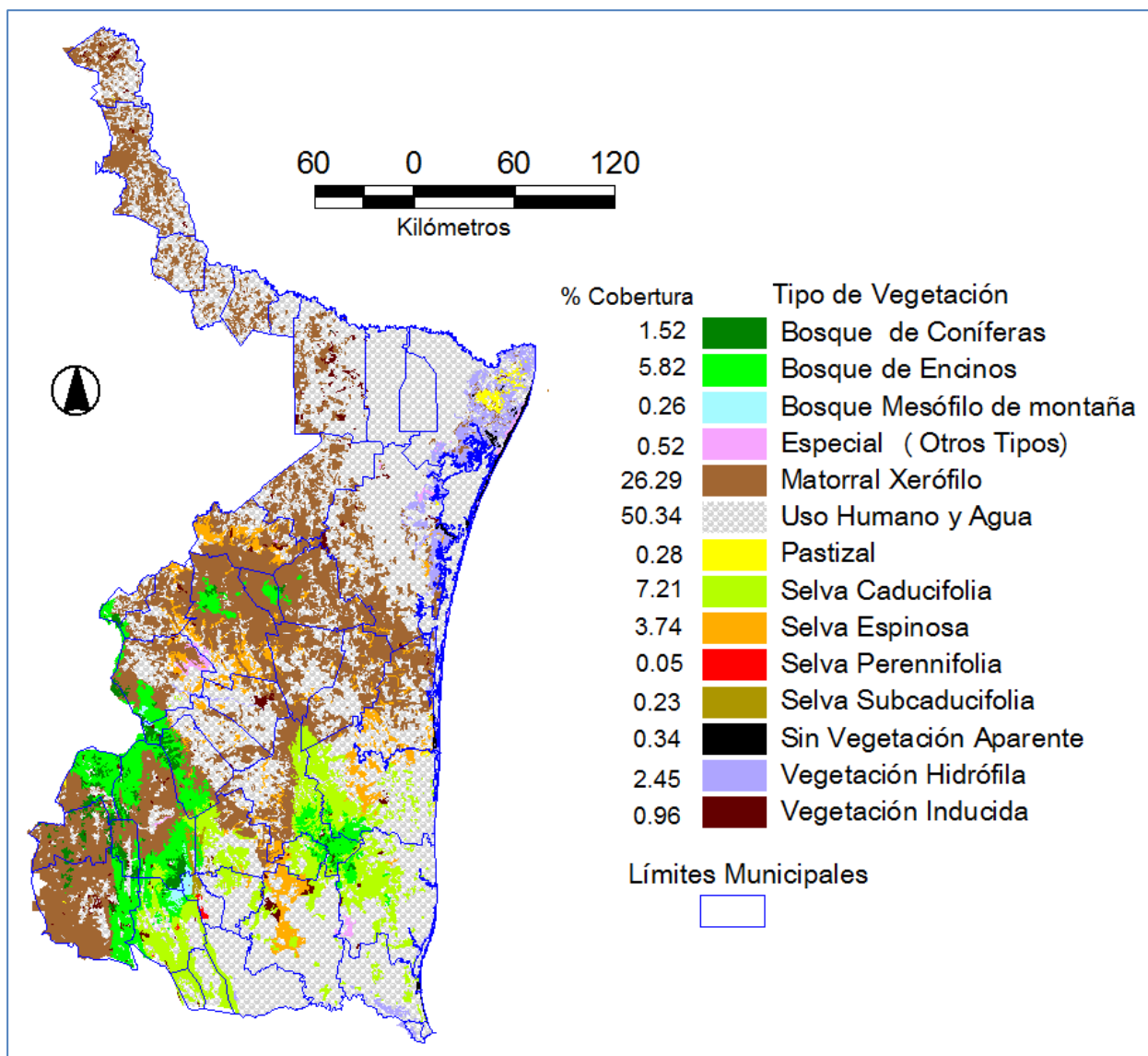


Figura II.1-2 Tipos de Vegetación y Porcentaje de su cobertura en Tamaulipas, a partir de la serie III del INEGI, 2005a.

Las actividades económicas más importantes del estado se desarrollan principalmente en sus mayores ciudades: industria maquiladora y extracción de gas en la frontera con Texas, y extracción de petróleo del Golfo de México e industria petroquímica en la zona conurbada de Tampico; en el resto de su territorio predomina la agricultura extensiva y otras actividades asociadas.

La distribución territorial de sus actividades económicas (Figura II.1-3) provoca que el 84% de la población habite en las zonas más industrializadas de la frontera norte, centro y sur (INEGI, 2010). Estas forman zonas metropolitanas que se encuentran entre las de mayores tasas de crecimiento en el país, que van desde los 10.6% en Tampico al 23.7% en Nuevo Laredo (tasa de crecimiento acumulada 1990-2005, según datos del INEGI).

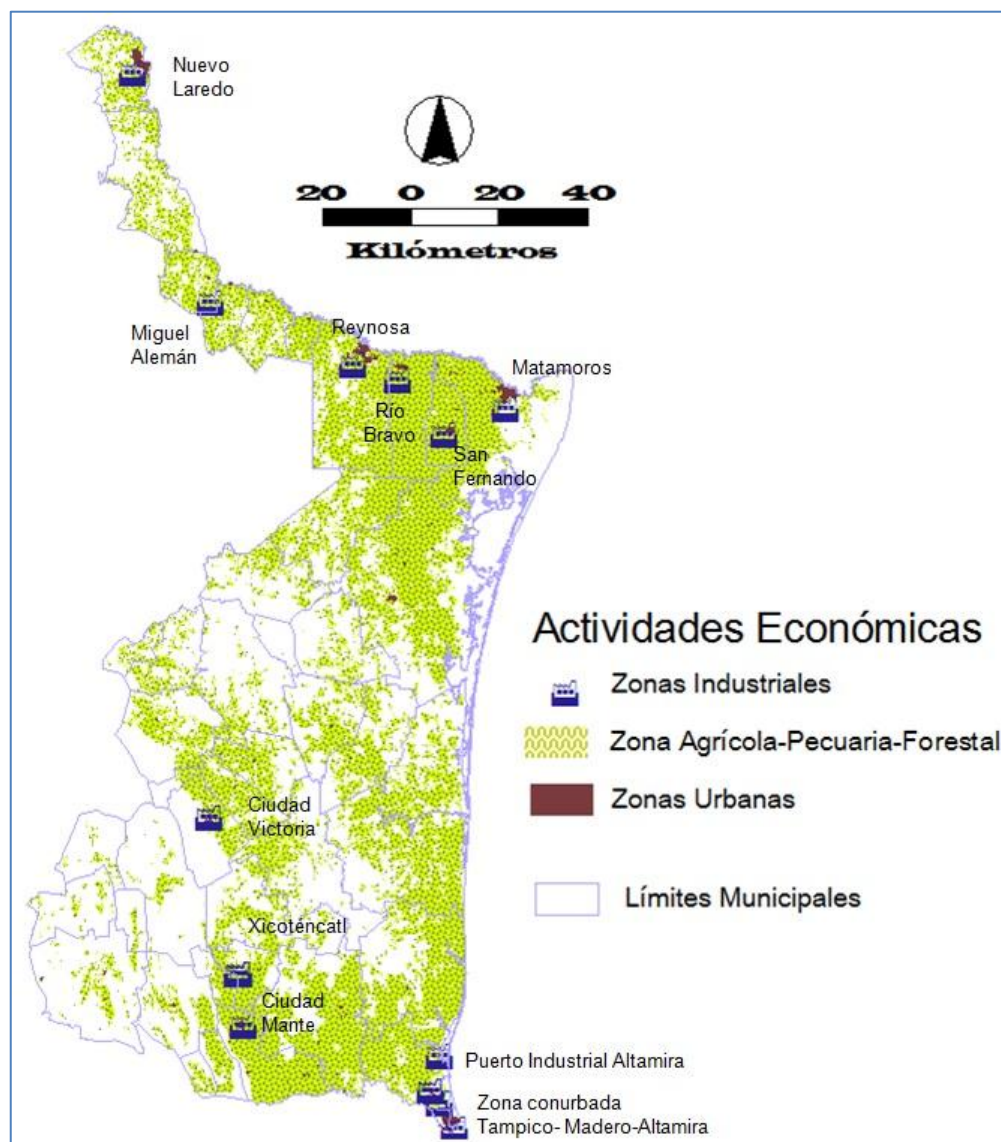
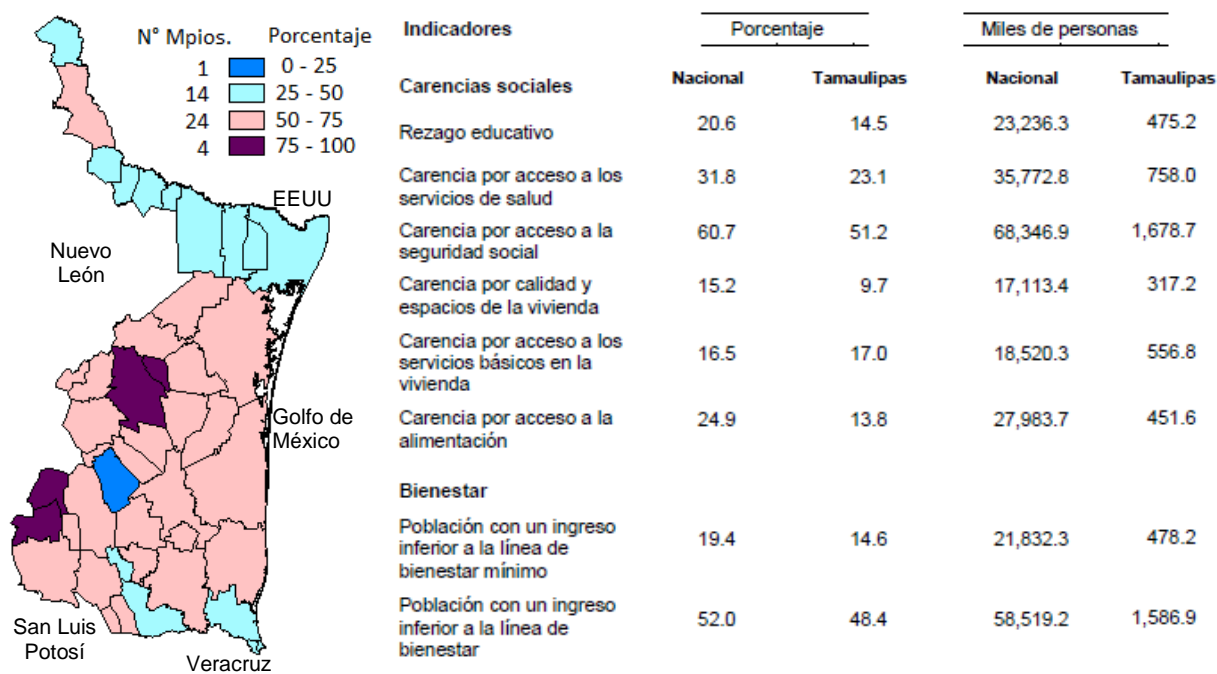


Figura II.1-3. Mapa de Actividades Económicas del estado de Tamaulipas, a partir del INEGI 2005a.

Al pertenecer a un estado norteño e industrializado, la polarización de actividades humanas causa que parte de la sociedad tamaulipeca se encuentre en situación de pobreza, aunque es de las más bajas con respecto a la Federación. Esto puede notarse en los indicadores de bienestar (Figura II.1-4.), donde se ubica por debajo de los promedios nacionales. Por ejemplo, el rezago educativo, que en Tamaulipas se sitúa en un 14.5%, en México supera el 20 %. Por otra parte, el porcentaje de dicha población es elevado (>75%) en los municipios de San Carlos, San Nicolás, Bustamante y Miquihuana; por el contrario, en Victoria, sede de la capital del estado, sólo el 24.7% de la población total presenta condiciones de pobreza.

Figura II.1-4. Municipios con población en situación de pobreza (% de la población total) y los indicadores de carencias sociales y de bienestar a nivel Tamaulipas para el año 2010 (Tomado de [CONEVAL, 2012](#))



La convergencia de aspectos geopolíticos y fisiográficos es la responsable de gran parte de las condiciones socioeconómicas descritas. Por ejemplo, la ubicación fronteriza y costera del estado, le permiten ventajas significativas en cuanto al intercambio comercial nacional e internacional. Esto, por un lado le permite atraer grandes inversiones de la industria mundial, y por otro, ser la principal “puerta de entrada” de los mayores flujos aduanales fronterizos de México y Estados Unidos.

II.2. La Cuenca Guayalejo-Tamesí.

Al sur de Tamaulipas, se encuentra la cuenca hidrológica Guayalejo-Tamesí, que pertenece a la Región Hidrológica Número 26 “Bajo Río Pánuco” (RH-26). El Río Pánuco, con un escurrimiento natural medio superficial de 20,330 millones de metros cúbicos al año es el cuarto en importancia dentro del territorio mexicano (CONAGUA, 2011a), y Tamaulipas le aporta un 29.5% del volumen total a dicha Región hidrológica, mediante las cuencas Guayalejo-Tamesí y Tamuín. El mapa base de la cuenca se muestra en el ANEXO DIGITAL 1 y ANALÓGICO 1.

Dentro del estado, la cuenca ocupa casi 15,000 Km² (1’497,340 Ha.), aunque algunas porciones de ésta (5.52%, Adame, 2010) se encuentran en los estados de Nuevo León, al oeste; y al sur en San Luis Potosí. En conjunto con la cuenca “Tamuín” (al sur, en el vecino estado de San Luis Potosí) aporta el 29.5% de la región del río Pánuco, uno de los principales afluentes del país. Se sitúa en los límites de las regiones biogeográficas Holártica y Neotropical, por lo que, aunado a su cercanía al Golfo de México y al acentuado gradiente de altitud de la Sierra Madre Oriental, le permiten una alta diversidad de ecosistemas; éstos incluyen manglares costeros, selvas húmedas y subhúmedas,

comunidades montañosas de bosques de niebla y pino-encino, así como matorrales desérticos. Todo ello apenas en 200 Km de longitud horizontal (Figura II.2-1.).

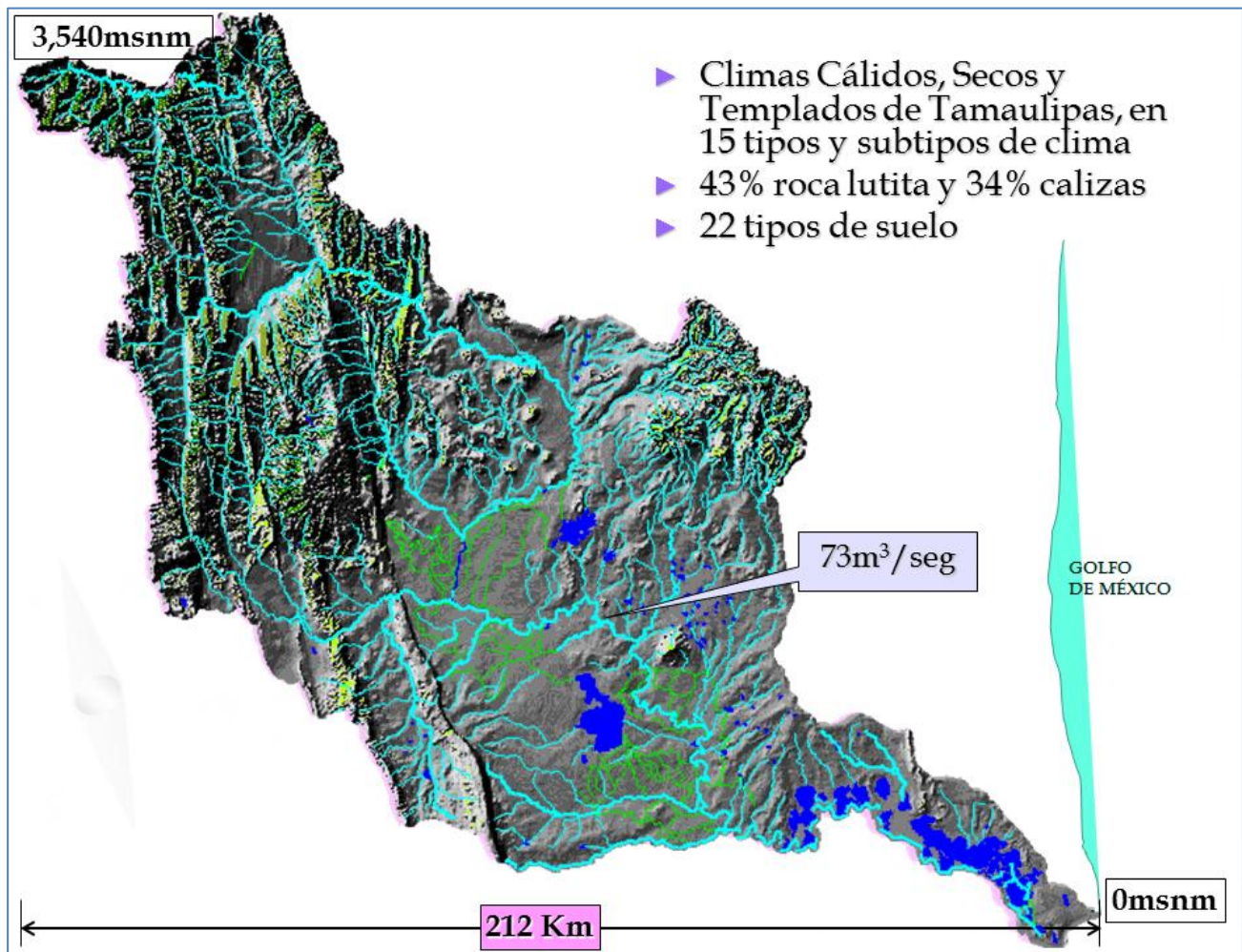


Figura II.2-1. Elevación sobre el nivel del mar e hidrología del área de estudio.

II.2.1.El medio biofísico.

Fisiografía

El área de estudio se ubica dentro de dos de las tres regiones naturales -provincias fisiográficas- en que se divide el territorio estatal: la Subprovincia de la Gran Sierra Plegada de la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Oriental y la Subprovincia de Llanuras y Lomeríos de la Llanura Costera del Golfo Norte. Además, abarca una porción de la discontinuidad fisiográfica de la Sierra de Tamaulipas. Esta distribución permite que un 35% del territorio de la cuenca sea de tipo serranía, 30% de llanuras, y 16% de bajadas, en elevaciones sobre el nivel del mar que van de la cota cero, hasta 3,540 metros de altitud (Figura II.2.1-1.) .

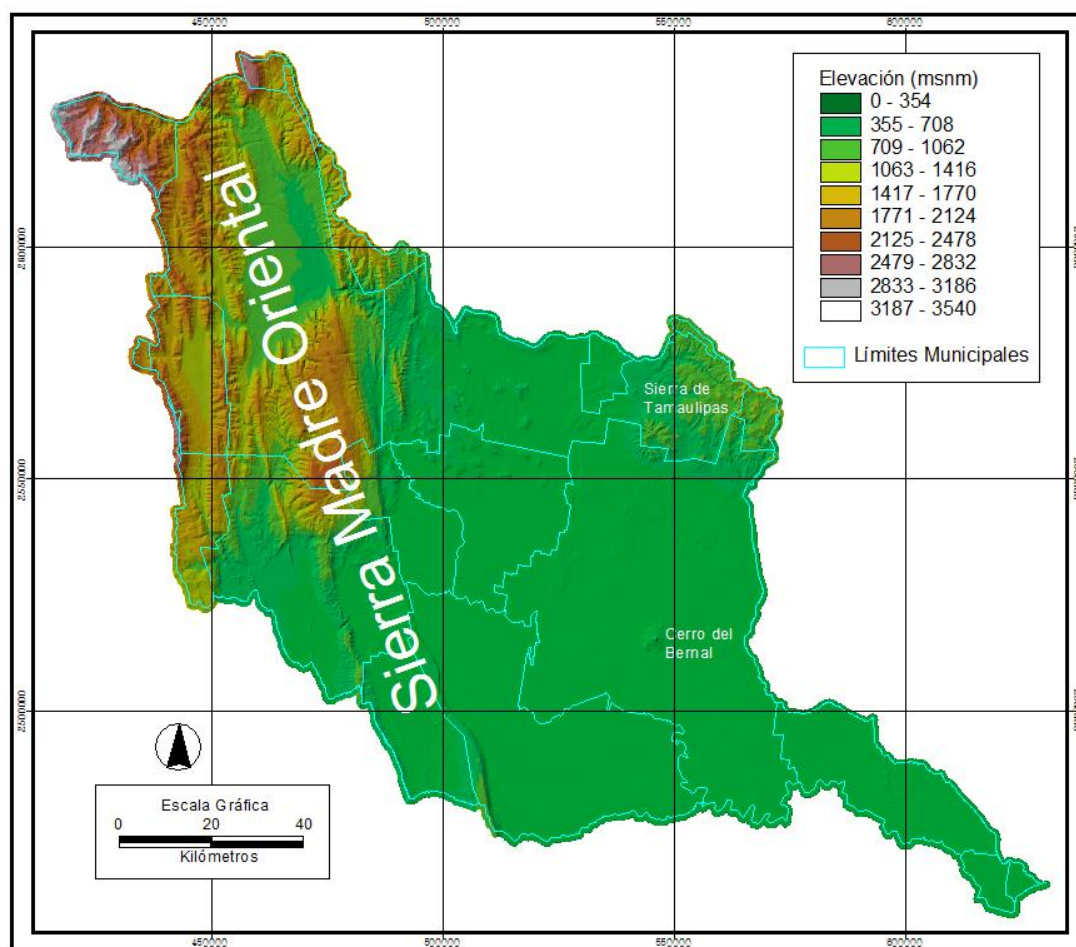


Figura II.2.1-1. Modelo Digital de Elevación. Cortesía del Proyecto GAP, 2001

Litológicamente, la mayor parte (77%) del territorio es de origen sedimentario, con dominancia de lutitas y calizas en diversas formaciones (Figura II.2.1-2). Los afloramientos de roca más antiguos del estado se encuentran en la provincia de la Sierra Madre Oriental cuyo basamento se constituye de gneises y esquistos del Precámbrico y del Paleozoico. Sobre estas rocas metamórficas se ubican sedimentarias de diferentes tipos, cuyas edades van del Paleozoico al Cenozoico y con escasas manifestaciones ígneas con rocas volcánicas como basalto y brechas. Por su parte, las rocas de la Llanura Costera del Golfo Norte son de origen sedimentario; las de mayor antigüedad se ubican lejanas a la costa y las más jóvenes hacia el este, con escasas manifestaciones volcánicas que datan del Terciario y Cuaternario (SGM, 2001).

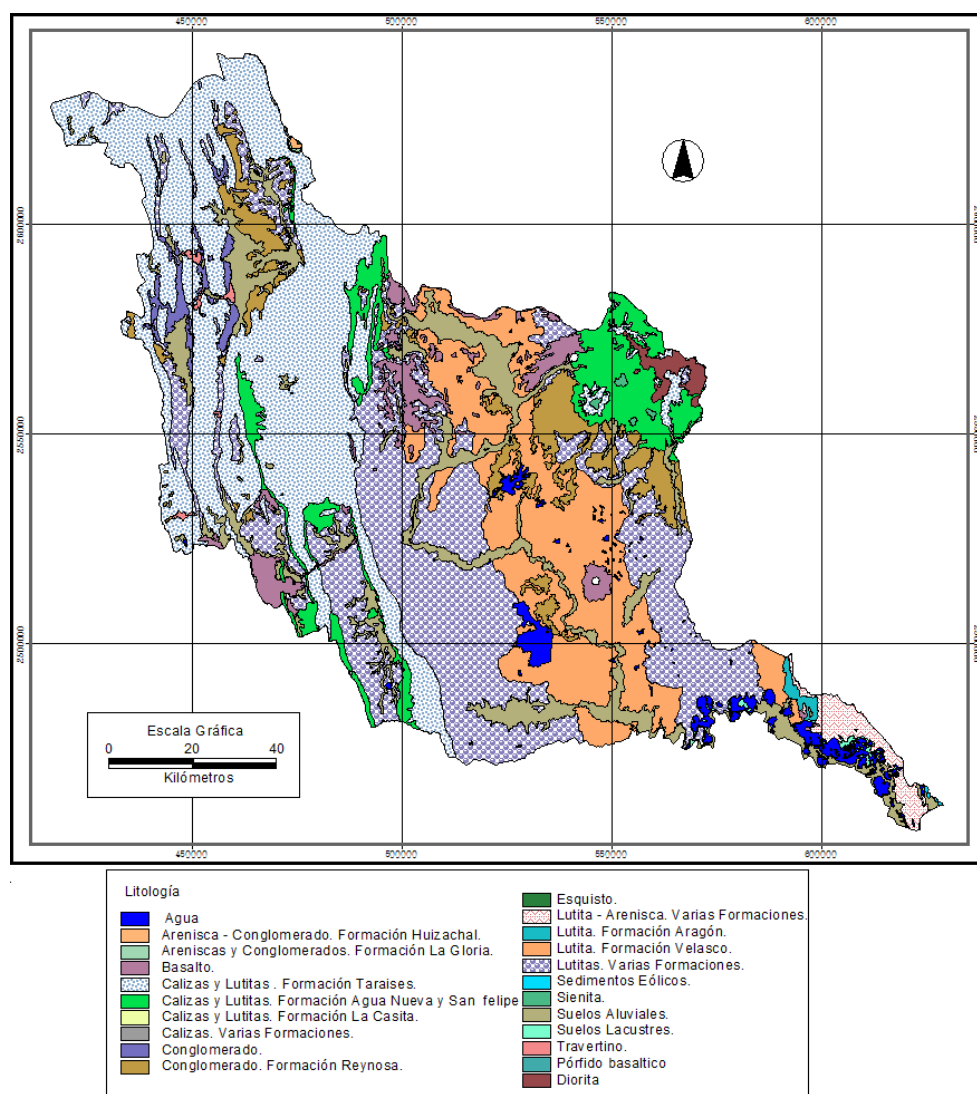


Figura II.2.1-2. Mapa Geológico de la Cuenca Guayalejo-Tamesí, tomado de SGM, 2001.

De acuerdo con INEGI (2000a), los suelos de la cuenca se componen en un 68% de Litosoles y Vertisoles. Los primeros, se ubican sobre zonas altas y montañosas, donde permanece vegetación nativa en alto estado de conservación. Por su parte, los Vertisoles son propios de zonas con topografía plana, características de terrenos aptos para cultivos de riego y temporal. En el resto del territorio existen otras 20 unidades de suelo, dentro de las que destacan por su extensión Regosoles, Rendzinas, Cambisoles y Feozem; unidades como Xerosoles, Chernozem, Solonchak, Fluvisoles y Castañozem ocupan superficies menores al 2% del área de estudio (Figura II.2.1-3).

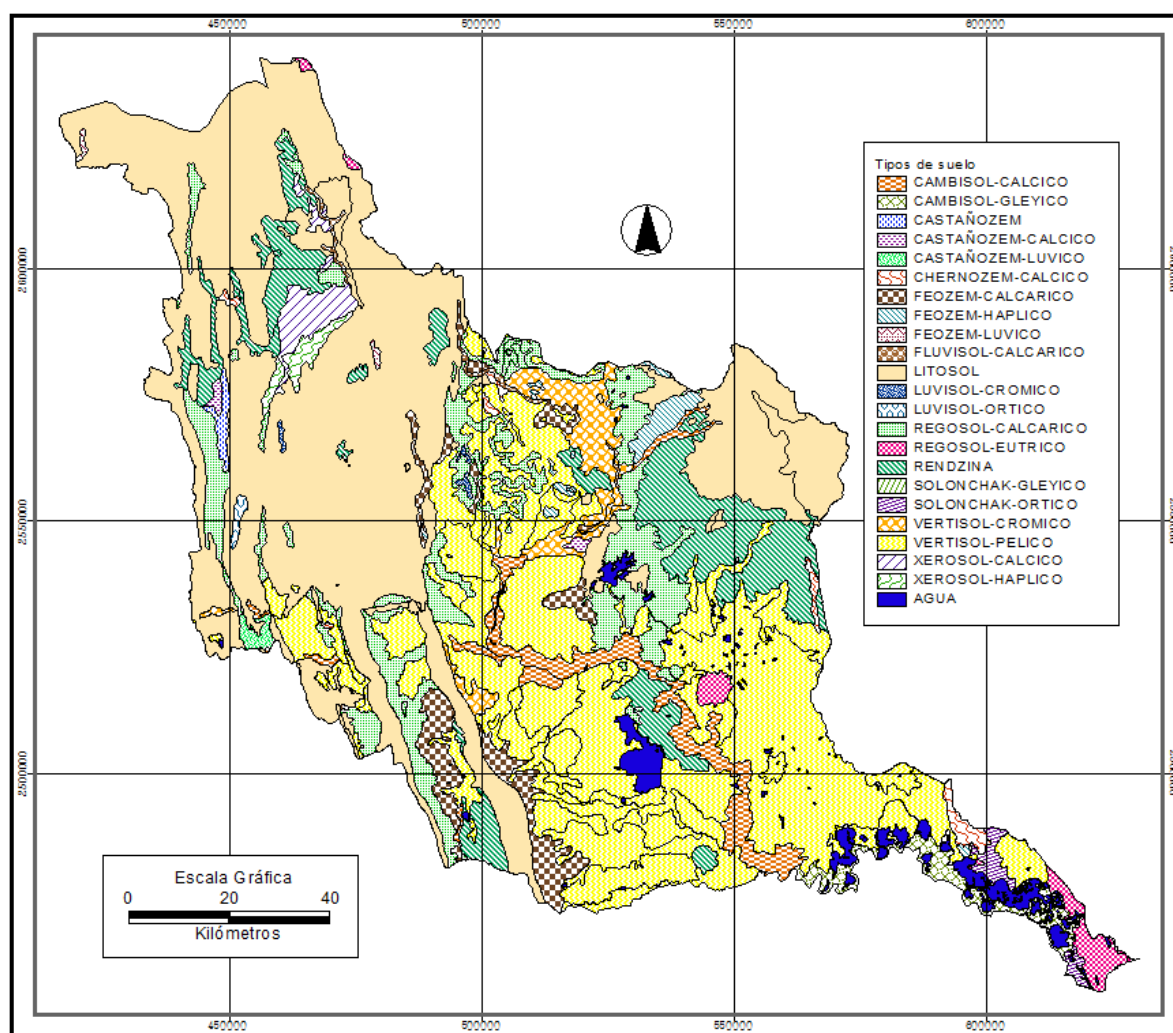


Figura II.2.1-3. Mapa Edafológico de la Cuenca Guayalejo-Tamesí, tomado de INEGI, 2000a.

Agua

El área de estudio pertenece a la Región Hidrológica Número 26 “Río Pánuco” (RH-26), que abarca 96,989Km² y desemboca en el Golfo de México, en el Puerto de Tampico. En Tamaulipas se encuentran dos cuencas de la RH-26: la Guayalejo-Tamesí, que conforma el área de estudio, y la del Río Tamuín. De toda la región del Pánuco, Tamaulipas aporta un 29.5% del volumen total, con lo que es el mayor aportador, seguido por San Luis Potosí (27.7%) e Hidalgo (20%) (UAT, 2001).

El eje principal de la cuenca, el río Guayalejo, es el mayor aportador del llamado Bajo Río Pánuco. Nace como río Alamar (en el vecino estado de Nuevo León) al norte de Miquihuana, a una elevación de 3,400 m.s.n.m; al llegar a la confluencia del río Jaumave, ya se le denomina Guayalejo. Posteriormente, en la confluencia del río Naranjo, se llama río Tamesí y sirve de límite estatal entre Tamaulipas y Veracruz.

Ocupa el segundo lugar en importancia entre los aportadores del colector general de la cuenca del Río Pánuco, de acuerdo con UAT (2001), tanto por su área drenada (cuya

extensión total hasta su confluencia con dicho afluente es de 17,084 km²), como por sus volúmenes de aportación, con un escurrimiento medio anual de 2,299 Mm³ y gastos de 72.9m³/seg en estación Magiscatzin. Sus aportadores son, de norte a sur, los ríos: Jaumave, La Cañada, Sabinas, Comandante, Frío, Mante, San Vicente, El Cojo, Naranja y Tantoán; así como los arroyos, Santa Clara, Maravillas y Las Ánimas.

La superficie total ocupada por los cuerpos de agua (naturales y artificiales) en la cuenca es de 29,249 hectáreas. Los más importantes por su superficie (UAT, 2001) son el embalse de la Presa Ramiro Caballero (7,417.02 has) y de la Emilio Portes Gil (2,179.87 has), así como el sistema lagunario del Tamesí, compuesto por 30 lagunas que suman 16,934.32 has, y donde resaltan por su tamaño las de Champayán (7,339.34 has), y La Salada (2,439.77 has).

En cuanto a hidrología subterránea, gran parte de la cuenca presenta unidades geológicas conformadas por material no consolidado, con baja posibilidad de aprovechamiento del acuífero. Los sitios de materiales con posibilidades medias y altas (sean consolidados o no), en su mayoría se encuentran sobre suelos aluviales, asociados al valle de Jaumave así como al cauce del río Guayalejo. En el primer caso se encuentran suelos superficiales tipo Xerosol cálcico y Rendzina (con fase física petrocálcica); en el segundo son Cambisol cálcico y Vertisol crómico, en fase salina sódica (UAT 2001).

Existen cinco acuíferos en la cuenca: Zona Sur, Llera-Xicotécatl, Ocampo-Antiguo Morelos, Palmilla-Jaumave y Tula-Bustamante. Ninguno de ellos presenta intrusión salina ni sobre-explotación, sólo el de Tula-Bustamante se reporta como sub-explotado. Las características principales de estos acuíferos se muestran en el Cuadro II.2.1-1.

Cuadro II.2.1-1 Características de los acuíferos en la cuenca Guayalejo-Tamesí

Nombre	Extracción	Disponibilidad	Recarga	Condición
	(Mm ³)	(Mm ³)	(Mm ³)	
Zona Sur	0.69	0	7	
Llera-Xicotécatl	7.33	0	22	
Ocampo- Antiguo Morelos	1.64	0	15	
Tula-Bustamante	21.8	32.2	54	Subexplotado
Palmillas-Jaumave	4	0	68	

Fuente: carta digital de la CNA, EN UAT, 2001.

El clima y sus elementos

En la cuenca Guayalejo-Tamesí, el clima tiende a ser cálido y húmedo, debido a que se encuentra en su mayoría al sur del trópico de Cáncer. Esto es así especialmente en las cuencas media y baja, debido a su vecindad con el Golfo de México. Esta humedad es retenida por la Sierra Madre, donde se presentan climas templados y húmedos; de esta forma, en el altiplano tamaulipeco, ubicado del lado poniente, se presentan climas secos, y en las montañas del extremo este, semifríos no tan húmedos.



49°C, registrados en la cuenca media y el Valle de Jaumave; ahí se ubican los cultivos, entre los que destaca el de caña de azúcar, que durante la zafra precisa de la quema de grandes superficies, lo que durante el verano aumenta sustancialmente las temperaturas de la zona.

Las temperaturas mínimas que caracterizan a la mayor parte de la cuenca son de 18 a 20°C, asociadas a la cuenca media, donde también se presentan las máximas promedio; las de menor valor se registran en las partes más altas, en los municipios de Miquihuana y Jaumave, con 7 a 9°C en promedio. No obstante, las mínimas extremas (-9 a -7°C) se presentan al poniente, sobre las sierras El Pino y Los Nogales, así como en la porción más alta de la Sierra de Tamaulipas y en el Cerro del Bernal.

La cuenca Guayalejo-Tamesí presenta todos los rangos de precipitación promedio que se registran en el estado de Tamaulipas. Desde los más bajos (234-454 mm), captados principalmente en el Valle de Jaumave; hasta los más altos (1,558 a 1,778 mm), en **El Cielo**, hacia la población Gómez Farías. Es importante resaltar que este gradiente se presenta en sólo 50 kilómetros lineales en dirección sureste. En la mayor parte de la cuenca se registran valores intermedios (respecto al estado), con valores de entre 675 y 1116 mm anuales.

La radiación solar que incide sobre la superficie del terreno es estimada tomando como base los valores de nubosidad, así como el tipo y densidad vegetal. Se entiende como el valor energético (calorías) que incide sobre una unidad de superficie (cm²) en 24 horas. En la cuenca, se registra en su mayoría el rango intermedio de 469 a 510 cal/cm²día, con valores mínimos (356-408 cal/cm²día) en los límites entre Llera y Casas; mientras que los máximos (561-612 cal/cm²día) se registran aproximadamente 15 kilómetros al sur, en los límites de Xicoténcatl y González, así como en el Valle de Jaumave, al sur de Palmillas y al centro de Altamira.

Riesgos naturales

Son fenómenos naturales que ponen en riesgo la integridad de la población humana, su infraestructura y/o sus actividades. En Tamaulipas y en la cuenca Guayalejo-Tamesí el riesgo por sismicidad es muy bajo, pues se encuentra alejado de las zonas de contacto entre la placa de Cocos y la Norteamericana, y sobre la placa Norteamericana... etc. En cambio, se presentan fenómenos de origen hidrometeorológico: huracanes, tormentas eléctricas, inundaciones, lluvias torrenciales, sequías, heladas y granizadas, que se describen a continuación.

La cuenca Guayalejo-Tamesí ha sido afectada por 27 eventos ciclónicos registrados a partir de 1863 por el Centro Nacional de Huracanes (NHC, *National Hurricane Center*) de Estados Unidos. De acuerdo a la categoría utilizada para medir la fuerza de estos eventos, la Saffir-Simpson, se han presentado en la región dos depresiones tropicales, cuatro tormentas tropicales, tres tormentas y 17 huracanes de diferentes categorías, que se enlistan en el Cuadro II.2.1-2

Cuadro II.2.1-1. Eventos ciclónicos registrados en la costa sur de Tamaulipas, que han afectado a la Cuenca Guayalejo-Tamesí (Fuentes: NHC, 2011; CNA, 2000, EN UAT, 2001)

Nombre	Año	Fechas	Sitio de entrada a Tamaulipas	Categoría en Tamaulipas	Vel. Viento
					(Km/h)
Sin nombre	1863	SD	Aldama	TT	SD
Sin nombre	1878	SD	Aldama	H	SD
Sin nombre	1903	06 - 16 Ago	La Pesca	TT	92.5
Sin nombre	1909	27 Jul -11 Ago	Troncal	TT	64.8
Sin nombre	1921	06 - 08 Sep	Sur de Tamaulipas	TT	111
Sin nombre	1928	01 - 08 Sep	La Pesca	TT	74
Sin nombre	1933	27 Jun - 7 Jul	La Pesca	H1	129.5
Sin nombre	1933	10 - 15 Sep	Tampico	H1	120
Sin nombre	1933	16 - 25 Sep	Tampico	H1	120.3
Sin nombre	1936	07 - 12 Ago	Barra del Tordo	TT	64.8
Sin nombre	1936	15 - 19 Ago	Tampico	H1	120
Sin nombre	1938	23 - 28 Ago	Barra del Tordo	TT	111
Sin nombre	1947	9 - 16 Ago	Tampico	H2	172
How	1950	01 - 04 Oct	La Pesca	DT	55.5
Charlie	1951	12 - 23 Ago	Tampico	H1	120.3
Gladys	1955	04 - 06 Sep	Tampico	TT	92.5
Hilda	1955	10 - 20 Sep	Tampico	TT	111
Inés	1966	21 Sep - 11 Oct	La Cruz	H3	194.3
Fern	1967	01 - 04 Sep	Lomas del Real	H1	120
Ella	1970	08 - 13 Sep	La Pesca	H3	194.3
Greta	1970	26 Sep - 05 Oct	Tampico	DT	46
Anita	1977	29 Ago - 3 Sep	La Pesca	H4	222
DT-5	1994	29 Jul -31 Ago	Tampico	DT	56
Gabrielle	1995	9 - 12 Ago	La Pesca	TT	111
Dolly	1996	19 - 25 Ago	Tampico, Madero, Altamira,	H1	129.7
Keith	2000	28 Sep - 2 Oct	Tampico	H1	144.9
Alex	2010	25 Junio- 1 Jul	La Pesca	H2	165

Notas: DT= depresión tropical; H1= huracán clase 1; H2= huracán clase 2; H3 = huracán clase 3; H4 = huracán clase 4; TT= tormenta tropical; SD= sin datos.

De los huracanes que se han presentado, doce han arribado por las inmediaciones de la hoy zona conurbada Tampico-Madero-Altamira. Como se mencionó con anterioridad, es en esta región donde se presentan los mayores promedios de lluvias torrenciales, de días nublados, así como de inundaciones; esto es debido a que, en el periodo de análisis para estimar dichas variables, por la zona mencionada se presentaron seis eventos ciclónicos, de los cuales tres alcanzaron la categoría de huracán.

Las inundaciones están asociadas con la temporada de ciclones y lluvias torrenciales, y se presentan en terrenos bajos, donde existe deforestación, insuficiente evacuación de las lluvias y desnivel entre las cordilleras y el mar. En la cuenca estas condiciones ocurren en

la región del sistema lagunario del Pánuco y Tamesí, donde existe riesgo alto de inundaciones en llanuras de desborde con régimen de verano. Aunque no se cuenta con estructuras de control, el sistema de monitoreo de la **CONAGUA** permite un conocimiento oportuno de la evolución de avenidas, de manera que en los últimos años ha sido posible tomar medidas adecuadas para evitar en lo posible los daños a la población.

Las zonas con problemas más fuertes de sequía coinciden en el Altiplano Tamaulipeco, en los municipios de Jaumave, Palmillas, Miquihuana y Tula. Es en esta región que se presentan condiciones semidesérticas, debido a la conjunción de elementos ecogeográficos del Valle de Jaumave y el de Tula. La humedad proveniente del Golfo de México es retenida por las sierras Los Nogales y Grande (donde se presentan los valores más bajos del índice de severidad de sequía); por lo que, cuando se presenta escasez pluviométrica en la cuenca baja, se propician las condiciones para la ocurrencia de sequía en el altiplano.

Por otra parte, las heladas están en función del clima, e influye en su ocurrencia la altitud y la lejanía de la zona con el Golfo de México (UAT, 2001). De esta forma, en las cuencas media y baja se tiene una incidencia menor de 1.7 eventos anuales. Esta condición permite el desarrollo de cultivos tropicales perennes en la zona, como el mango y algunos cítricos.

En las zonas altas de las sierras aumenta la ocurrencia, hasta llegar a 7.3-9.1 eventos promedio anual, que se presentan en los municipios de Miquihuana y Palmillas. Son los municipios con valores más bajos de temperatura mínima promedio, por lo que en la zona de la Peña Nevada, en el municipio de Miquihuana han llegado a registrarse condiciones propicias para las nevadas, como la ocurrida en enero de 2005.

La mayoría de las tierras de la cuenca son privilegiadas desde el punto de vista de la disponibilidad de agua para las actividades humanas; especialmente las cuencas media y baja, que es donde se desarrolla la mayoría de las actividades productivas de la cuenca. En estas zonas se alcanza un promedio de 760 a 950 mm³ de escurrimiento, que pertenecen a la categoría más alta (buena, de 701 a 1000 mm³) en las zonas de importancia para la recarga de acuíferos de la región Cuenca de Burgos, según la UAT *et al.* (2005).

II.2.2. El sistema biótico y su manejo

Las características geográficas que concurren en la cuenca le permiten el desarrollo de una gran variedad de ambientes y comunidades vegetales. Dentro de su territorio ocurre el encuentro de los reinos holártico y neotropical, con tres regiones y cuatro provincias florísticas, según Rzedowski (1978, citado por UAT, 2001; Cuadro II.2.2-1.

Cuadro II.2.2-1. Divisiones florísticas del Estado de Tamaulipas, todas presentes en la cuenca Guayalejo-Tamesí (UAT, 2001).

REINOS	REGIONES	PROVINCIAS
Holártico	Mesoamericana de Montaña	Sierra Madre Oriental
Neotropical	Xerofítica Mexicana	Planicie Costera del Noreste
		Altiplanicie
	Caribea	Costa del Golfo de México

Esta mezcla de reinos florísticos provoca que, de los 24 principales tipos de vegetación y uso de suelo registrados en Tamaulipas (por el [INF de la UNAM, 2000](#), más detallado que la clasificación de [Rzedowski, 1978](#)), en la cuenca sólo están ausentes cuatro: matorral desértico micrófilo, matorral espinoso tamaulipeco, matorral crasicaule y pastizal natural; sin embargo, en campo se observaron relictos no cartografiables a la escala de trabajo, de los matorrales y algunos chaparrales de encino. Por ello, la cuenca prácticamente se divide en dos en cuanto a su cobertura de vegetación y uso antrópico Cuadro II.2.2-2, debido a que los terrenos aprovechables económicamente (llanuras, valles y bajadas de poca pendiente) ocupan casi 50% de la cuenca.

Cuadro II.2.2-2. Uso de suelo en la cuenca Guayalejo- Tamesí.

Uso	Hectáreas	% cobertura relativa
Natural	845,960	56.74
Antropogénico	613,668	41.16
Presas y lagunas	30,785	2.06

Así, la mayor parte de se clasifica como agricultura y pastizales cultivados e inducidos Cuadro II.2.2-3).

Cuadro II.2.2-3. Clasificación de los usos del suelo y tipos generales de vegetación.

Cobertura	Hectáreas	% cobertura relativa
Agricultura	447,385	30.01
Bosques	250,177	16.78
Selvas	387,800	26.01
Pastizales	75,387	5.06
Matorrales	134,449	9.01
Agua	30,785	2.06
Mancha Urbana	20,606	1.38
Otras	143,824	9.65

Por su parte, dentro de la cobertura vegetal nativa domina la selva baja caducifolia y subcaducifolia hacia las porciones de menor altitud de la Sierra Madre y la de Tamaulipas, así como el bosque de encino de las altitudes intermedias de la sierra; mientras que en el Valle de Jaumave domina el matorral submontano.

Otros tipos de asociaciones vegetales registrados son: en las partes más altas, bosques de pino y mezclas de este con encino, así como bosque mesófilo de montaña en **El Cielo**; selva mediana subperennifolia, en algunas regiones bajas de la sierra; matorral xerófilo en la altiplanicie tamaulipeca, así como distribuidos en distintos puntos y en menores proporciones: mezquital, bosque de táscate, tulares, manglares, palmar, selva baja espinosa, selva mediana subcaducifolia, vegetación de galería y chaparral.

El alto número de comunidades vegetales en la cuenca Guayalejo-Tamesí, proporciona una diversidad de hábitat tal, que es capaz de soportar una gran riqueza faunística de afinidad

tanto neártica como neotropical. La cuenca es, por lo tanto, punto de encuentro de las dos regiones faunísticas (Figura II.2.2-2)

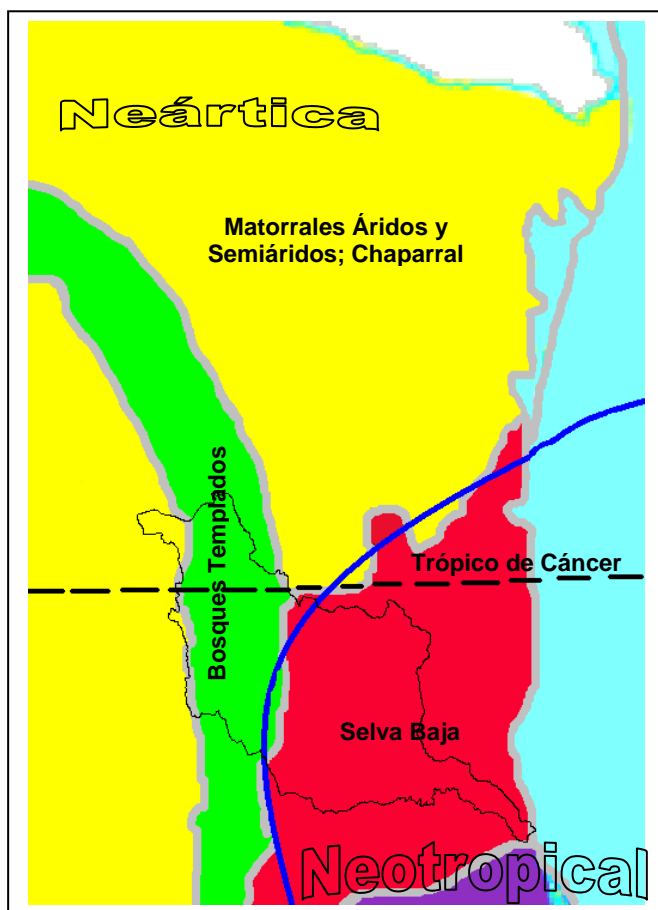


Figura II.2.2-2. Regiones faunísticas y ecosistemas en Tamaulipas y en la cuenca Guayalejo-Tamesí (límite en línea negra continua). El límite entre regiones se muestra en azul (Fuente: INEGI, 2005a)

Los estudios de fauna en el Estado datan en su mayoría de los años 60 o anteriores. Tratan en general de ecología y aspectos demográficos de vertebrados (UAT, 2001). La información cartografiable más *actual* y disponible se encuentra en las bases de datos de la CONABIO (2000), con registros de especies de diferentes grupos. La mayor parte de estos fueron tomados de la literatura, en que la ubicación era descrita de manera aproximada; de esta forma, la inclusión de coordenadas geográficas a la base de datos fue hecha sólo aproximadamente. CONABIO (2000) cuenta con 9,796 registros de vertebrados para el estado de Tamaulipas (Cantú, *et. al.*, 2005), de los cuales 3,853 (39.3%) se encuentran en la cuenca: Además existen 44 especies de peces que Hernández (2003) registró en 31 puntos de la cuenca.

En Tamaulipas existen siete ANPs, lo cual significa un 10.3% de la superficie del estado; de éstas, tres se encuentran en la cuenca Guayalejo-Tamesí: El Cielo, el Cerro del Bernal y una parte de Altas Cumbres. Aunque a la fecha no ha sido declarada como ANP, se ha propuesto como tal la Sierra de Tamaulipas (DOF, junio 5 de 2006). Además, existen la RTP del Valle de Jaumave y el AICA de los humedales del delta del Pánuco-Tamesí. El Cuadro II.2.2-5 resume algunas características de estas áreas de manejo.

Cuadro II.2.2-5. Áreas con estatus de interés o protección de los recursos naturales

Nombre	Superficie total	% en la	RTP	AICA	ANP
Sierra de Tamaulipas	290, 311 has	21.3	✓	✓	Propuesta RB (DOF 05/06/2006)
San Antonio-Peña Nevada	605 Km ²	38	✓	✓	
Valle de Jaumave	701 Km ²	100	✓		
El Cielo	144,530 has	100	✓	✓	RB (POTam, 13 /07/1985)
Laguna de San Andrés	732 Km ²	3.5	✓		
Humedales del sur de Tamaulipas	122,637 has	67.2		✓	
Cerro del Bernal de Horcasitas	18,204 has	100			MN (POTam, 30/09/1997)

Notas: RB= reserva de la biósfera; MN= Monumento Natural

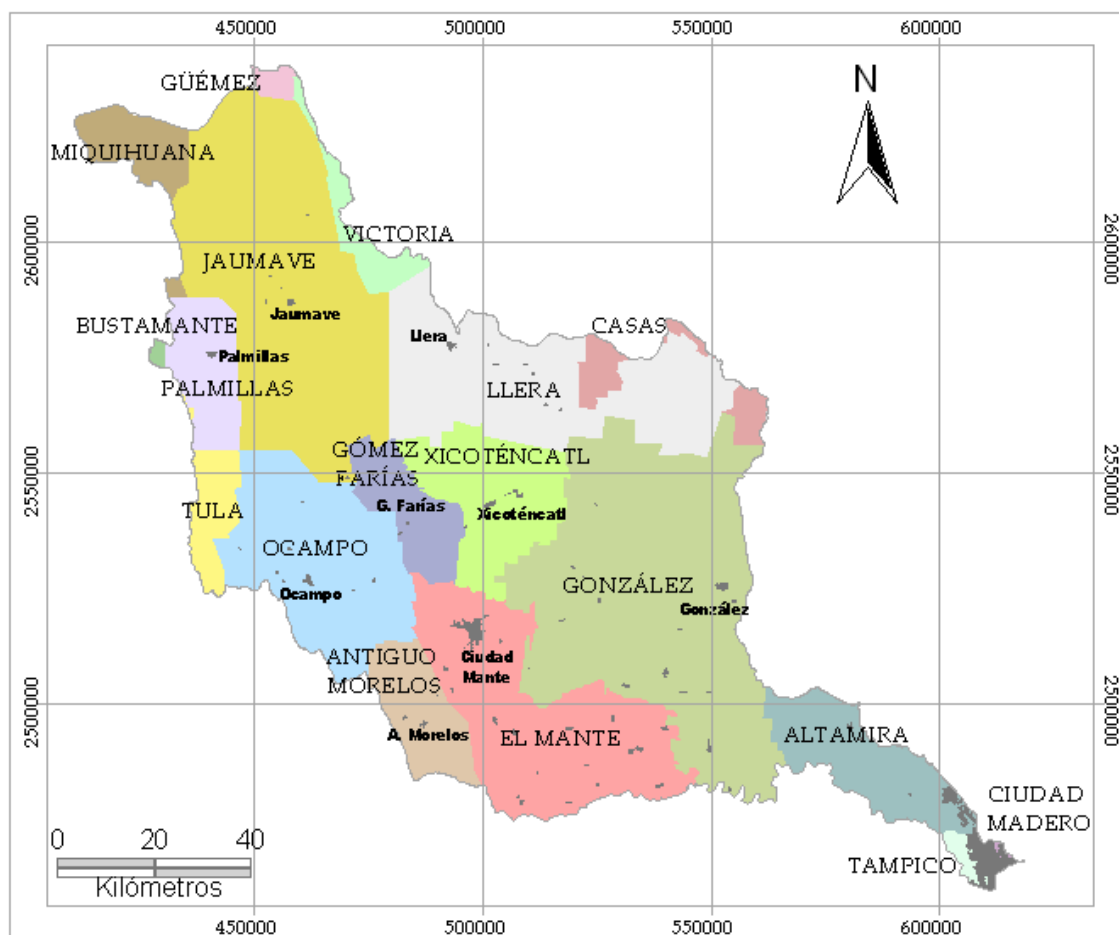
El país está dividido en diez zonas ecológicas (GIOT, 2000) y siete existen en la cuenca. Dentro de las determinadas por están la cálida húmeda, que manifiesta selvas medianas y altas de naturaleza perennifolia o subperennifolia. La zona cálida subhúmeda presenta selvas medianas y bajas, subcaducifolias y caducifolias. Abarca gran parte de la cuenca media, sobre las sierras de menor altura. La zona templado-húmeda manifiesta bosques de niebla, y se ubica al sur de **El Cielo**. Los bosques de pino y encino corresponden a la zona templado subhúmeda de las zonas serranas de mayor altura en la cuenca.

II.2.3.El medio social y urbano.

El área de estudio se conforma con terrenos de veinte municipios tamaulipecos, aunque, como se observa en el Cuadro II.2.3-1, sólo Xicoténcatl, Gómez Farías y El Mante se encuentran completamente contenidos en ella.

Cuadro II.2.3-1. Superficie de los municipios que conforman el área de estudio.

Municipio	Superficie total (Ha)	Superficie en la cuenca (Ha)	% contenido en la cuenca
Xicoténcatl	83,782.43	83,782.43	100
Gómez Farías	43,251.07	43,251.07	100
El Mante	169,883.20	169,464.34	100
Jaumave	273,756.80	271,513.61	99.2
Tampico	9,192.85	8,917.86	97.0
Palmillas	48,472.02	45,141.05	93.1
González	349,315.70	318,655.37	91.2
Antiguo Morelos	56,129.65	45,740.09	81.5
Ocampo	176,182.10	140,817.54	79.9
Llera	230,732.60	174,819.11	75.8
Cd. Madero	4,658.03	3,405.60	73.1
Altamira	166,749.50	69,289.34	41.6
Miquihuana	105,588.50	34,316.19	32.5
Victoria	153,824.30	22,372.14	14.5
Tula	306,243.40	28,027.39	9.15
Casas	287,437.30	23,411.40	8.14
Güémez	120,451.00	6,108.86	5.07
Bustamante	130,142.40	1,881.25	1.45
Nuevo Morelos	28,752.97	65.99	0.23
Aldama	366,787.70	69.76	0.02



Cuadro II.2.3-2. Población y su densidad en los municipios que integran la cuenca (Fuente: INEGI, 2005; INEGI, 2010)

Municipio	Población 2005	Población 2010	% cambio	Densidad 2010 (Hab/Ha)	% Hab. en la Cuenca
Altamira	162,628	212,001	30.4	1.271	38.94
Antiguo Morelos	8,561	9,003	5.2	0.160	94.58
Bustamante	7,275	7,636	5	0.059	0.13
Ciudad Madero	193,045	197,216	2.2	42.339	100
El Mante	112,061	115,792	3.3	0.682	100
Gómez Farías	8,464	8,786	3.8	0.203	100
González	40,946	43,435	6.1	0.124	70.86
Güémez	14,424	15,659	8.6	0.130	0.52
Jaumave	14,021	15,105	7.7	0.055	100
Llera	17,317	17,333	0.1	0.075	95.07
Miquihuana	3,390	3,514	3.7	0.033	5.89
Ocampo	12,477	12,962	3.9	0.074	87.19
Palmillas	1,603	1,795	12	0.037	0.13
Tampico	303,924	297,554	-2.1	32.368	99.90
Tula	25,687	27,572	7.3	0.090	4.47
Victoria	293,044	321,953	9.9	2.093	0.002
Xicoténcatl	21,877	22,864	4.5	0.273	100
Casas	4,123	4,423	1.07	0.015	3.18
Aldama	27,676	29,470	1.06	0.08	0
Nuevo Morelos	3,051	3,381	1.1	0.117	0

Además del número de habitantes y su densidad en la cuenca, es importante analizar el modo de vida de sus habitantes, que puede ser estudiado a través de Indicadores Socioeconómicos, respecto a la cobertura de servicios urbanos, salud, educación, y niveles de ingresos.

En los indicadores de servicios con los que cuenta la población para su bienestar se dan valores que superan el 90%; es el caso de la cobertura de electricidad (97.59%), sanitarios (97.51%) y de agua entubada (77.38%). En cambio, en la cobertura de salud o aspectos relacionados con los ingresos (en este caso, a nivel Tamaulipas), los porcentajes son de 20% o menos: son muy pocos los que perciben más de cinco salarios mínimos (7.4%), pero en cambio la población dedicada al Sector Terciario representa el 65.42%, y dentro de este, los Servicios profesionales, financieros y corporativos con el 9.01% (de acuerdo con ENOE, 2011 disponible en <http://www.stps.gob.mx/>).

Aunque el nivel promedio de educación es de 6.64 años escolares aprobados, el 81.4% de la población finalizó la secundaria (9 grados aprobados) y el 72.2% cuenta con once o más grados escolares aprobados.

Es importante señalar que la población de la cuenca, antes que tener refrigerador (60.6, 87.5%), teléfono (22.4, 48.6%) o lavadora (75.9%) poseen radio (74.5%) o televisión (90.8,

92.15%) en su vivienda. La mayor parte posee teléfono celular (móvil, 72.44%), y alrededor de la tercera parte (33.4%) cuentan con PC y con Internet (27.7%). Es de resaltar la importancia de estos indicadores de telecomunicaciones en el desarrollo sustentable, la administración y el manejo de la cuenca, ya que estos medios de información cuentan con alta accesibilidad para los pobladores. Es a través de ellos que una educación ambiental y las estrategias de desarrollo sustentable pueden tener su mayor difusión y permeabilidad. Los municipios con valores más altos son aquéllos en los que se ubica una mayor densidad poblacional en las zonas urbanas, es decir, Ciudad Madero, Tampico y Victoria. En el extremo se encuentra Miquihuana, con las mayores carencias de servicios públicos.

Las tradiciones de la población son de origen colonial y del mestizaje, puesto que sólo existen pocos y dispersos rastros de las culturas precoloniales asentadas en la cuenca, como son los Pizones, janambres, Huastecas, Olives y Chichimecas (Vera, 2004). De ello sólo quedan unas pocas construcciones en ruinas, así como los nombres de origen huasteco para diversos lugares de la región. Incluso el nombre del estado, Tamaulipas, se originó del vocablo huasteco *Tamaholipa*, en el que el prefijo “Tam”, unido a otros significa “lugar”; su significado exacto es tema de polémica, ya que algunos sostienen que significa “lugar donde se reza mucho” y otros que es “lugar entre montes altos” (Gob-Edo, sin año). Del mismo modo, Tampico significa “lugar de perros de agua” (refiriéndose a las nutrias nativas del sistema lagunario del Tamesí); así son nombrados distintos lugares de la Huasteca, como Tamatán, Tanchipa, Tantoyuquita, etc.

Actualmente, existe un número sensiblemente pequeño de personas que hablan alguna lengua indígena en la cuenca: sólo un 0.73% (5,883 personas) de sus habitantes de tres años o más que son capaces de comunicarse en alguna lengua, como Huasteco o Náhuatl.

Una de las grandes tradiciones en la cuenca que data de la colonia, es la profesión de la fe cristiana, específicamente del Catolicismo, que se mantiene aún en la mayoría de la población mexicana. La cuenca no es la excepción, por lo que el INEGI (2010) registra un promedio de 79% de la población mayor de cinco años que profesa dicha religión; sin embargo, se ha registrado una baja de 5.3% desde 2005 (INEGI, 2005).

Con respecto a las cuestiones de empleo, se tiene que en promedio, el 39.8% de la población de 12 años o más (322,577 personas) de los municipios de la cuenca se encuentra económicamente activa (PEA). De esta, el 94.9% (306,329 personas) cuenta con un empleo, donde se gana al menos un salario mínimo de entre 3.4 y 3.5 euros por jornada de trabajo, de acuerdo con la zona clasificada por la SAT, como se observa en el Cuadro II.2.3.-3.

Cuadro II.2.3-3. Salarios mínimos vigentes a enero de 2012 en los municipios de la cuenca

Zona	Municipios	Diario (8 hrs)	Mensual	Anual
B	Altamira, Antiguo Morelos, Ciudad Madero, Gómez Farías, González, El Mante, Nuevo Morelos, Ocampo, Tampico y Xicoténcatl	MXN 60.57 € 3.50	MXN 1817.1 € 106.89	MXN 21,805.2 € 1,282.68
C	Bustamante, Casas, Güémez, Jaumave, Llera, Miquihuana, Palmillas, Tula y Victoria	MXN 59.08 € 3.42	MXN 1772.4 € 104.26	MXN 21,268.8 € 1,251.12

Fuente: elaboración propia con datos de la SAT

(http://www.sat.gob.mx/sitio_internet/asistencia_contribuyente/informacion_frecuente/salarios_minimos/).

Con respecto a cuestiones de financiamiento municipal, es necesario mencionar que el presupuesto total asignado por la [SecGen-Tam \(2010 a, b, c\)](#) para el año 2011 es de 172 millones de €; de estos, 110 millones de € corresponden a la población que habita dentro de la Cuenca, lo que supone alrededor de 64% sobre el total presupuestado. Como puede observarse en el [Cuadro II.2.3-4](#), entre los municipios que más presupuesto se le asigna, destacan Tampico, Ciudad Madero, Altamira, Victoria y El Mante, y los que menos reciben son Miquihuana, Nuevo Morelos y Palmillas.

Cuadro II.2.3-4. Presupuesto (en euros) del ejercicio fiscal 2011 para los municipios de la cuenca, en euros, publicado por SecGen-Tam (2010a, b y c).

Municipio	Presupuesto total	Presupuesto por % Habitantes en la cuenca	Presupuesto/hab	Presupuesto /ha
Aldama	3'819,333.93	0.00*	129.60	10.41
Altamira	33'095,107.20	12'889,078.48	156.11	198.47
Antiguo Morelos	1'629,813.95	1'541,471.27	181.03	29.04
Bustamante	1'831,458.06	2,398.45	239.85	14.07
Casas	1'301,993.98	41,506.03	294.37	4.53
Ciudad Madero	27'076,172.39	27'076,172.39	137.29	5,812.79
El Mante	11'942,039.29	11'942,039.29	103.13	70.30
Gómez Farías	1'503,023.64	1'503,023.64	171.07	34.75
González	4'540,262.15	3'217,643.59	104.53	13.00
Güémez	2'256,879.14	11,818.38	144.13	18.74
Jaumave	1'287,809.96	1'287,809.96	85.26	4.70
Llera	2'864,212.38	2'723,092.12	165.25	12.41
Miquihuana	1'215,242.61	71,586.57	345.83	11.51
Nuevo Morelos	1'053,128.56	0.00*	311.48	36.63
Ocampo	2'244,690.25	1'957,220.28	173.17	12.74
Palmillas	952,634.47	950,511.61	530.72	19.65
Tampico	42'077,676.80	42'039,495.59	141.41	4,577.22
Tula	4'378,617.75	195,808.63	158.81	14.30
Victoria	24'241,616.27	376.48	75.30	157.59
Xicoténcatl	2'867,216.89	2'867,216.89	125.40	34.22

* Municipios que no registran habitantes dentro de la cuenca.

Del presupuesto total de la Cuenca, los municipios que más reciben por habitante son Palmillas (530 €/hab), Miquihuana (345) y Nuevo Morelos (311), y a los que se le asigna una menor cantidad se encuentran Victoria, Jaumave y El Mante. Por otra parte, el presupuesto por hectáreas muestra que los municipios que adquieren mayor cuantía son Ciudad Madero, Tampico y Altamira, y en cambio los que tienen una menor cantidad son Casas, Jaumave y Aldama.

II.2.4. Las actividades económicas y el uso del suelo y del agua

En cuanto al uso del suelo, los terrenos dedicados a las actividades antropogénicas en la cuenca ascienden a 728,373.54 hectáreas, lo que significa un 48.9% de su superficie total. De éstas, casi la mitad (48.4%) se encuentran dedicadas a la agricultura de temporal, y en conjunto con la superficie de cultivos de riego, ocupan el 71.5% (520826.5 ha) de los

terrenos antropogénicos. La actividad humana prácticamente se concentra en la cuenca media, donde los terrenos son planos y los suelos tipo vertisol. El tipo de suelos, clima e hidrología permiten el desarrollo agrícola y ganadero, sobre el que se ha sustentado la economía tradicional de la cuenca. Las actividades secundarias y terciarias se fomentaron a partir del crecimiento de los polos urbanos, comenzando con la **ZCTMA**, y expandiéndose principalmente a partir del tratado de libre comercio hacia otras comunidades, como Ciudad Mante, González, Xicoténcatl, Jaumave y Llera.

De acuerdo con la **CNA** (2004, citado por [Vera, 2004](#)), el agua superficial de la cuenca se destina al sector agropecuario (79%), industrial (8%), uso público urbano (8%), acuacultura (4%), y otros como la generación de energía eléctrica (a través de la termoeléctrica de Altamira) y las actividades recreativas. El alto porcentaje de agua superficial usado en la actividad agropecuaria, aunado al 69% de la subterránea, permite el desarrollo de ciclos de riego durante todo el año. Para ello, la distribución del agua se organiza en los Distritos de Riego (DR): 002-Mante, 029-Xico, 039-Río Frío, 092-Las Ánimas. Son alimentados por sistemas de canales de riego y por presas derivadoras, que a su vez se abastecen del río Guayalejo. En total, se cuenta con 738.55 kilómetros de canales de riego y con tres presas de almacenamiento y seis de derivación.

El abastecimiento de agua potable para uso urbano y público se lleva a cabo a través de 427 fuentes; estas comprenden 127 pozos profundos, 60 manantiales y 227 de otros tipos, entre los que se encuentran presas, canales, ríos y lagunas ([UAT, 2001](#)). Utiliza el 26% del agua subterránea aprovechada (CNA, 2004, citado por [Vera, 2004](#)). Dentro del uso público urbano del agua se incluyen los sectores industrial, doméstico y comercial. El sector doméstico es el que mayor cantidad de agua consume, con un porcentaje promedio de 85.5. Le sigue el uso comercial (12.9%) y el industrial (4.8%).

En cuanto a las actividades económicas principales, se tiene una gran variedad de cultivos de granos, hortalizas y frutales de distintas especies. [SAGARPA \(2004\)](#) registra un total de 59 especies y variedades cultivadas en los municipios de la cuenca. Destacan por su alto valor comercial, las hortalizas y tubérculos, diferentes variedades de tomate, chile, y cebolla, así como cacahuate; y en cuanto a superficie sembrada, caña de azúcar, cártamo, soya y sorgo en grano. El resto de las especies que se cultivan en los municipios de la cuenca son: agave, alfalfa, arroz, avena, canola, cártamo, cebada, girasol, henequén, lechuga, lima, limón italiano, mandarina, mango melón, naranja, nopal, nuez, papaya, pepino, piña, plátano, sábila, sandía, sorgo, tamarindo, toronja y trigo ([SAGARPA, 2004](#)).

La ganadería se desarrolla ya sea en agostadero o en granjas de producción intensiva, donde destaca la producción de bovino, con casi 15,200 toneladas de carne en 2004. El ganado porcino es el segundo en importancia para la cuenca en cuanto a volumen de producción (2,550 toneladas), el ovino (406.5 toneladas), pollo (354 toneladas) y finalmente el caprino, con 307 toneladas ([SAGARPA, 2004](#)). Otros productos de la cuenca son la producción de miel de abeja, con casi 286 toneladas, 178.2 toneladas de huevo, miel de abeja, se producen 30.8 toneladas, leche de vaca (17.83 millones de litros) y de cabra (sólo en el Altiplano Tamaulipeco, 28.6 mil litros).

Las pesquerías se desarrollan de manera artesanal en presas y lagunas, con escasa importancia comercial y capturan principalmente la mojarra, lobina, bagre, robalo y carpa para autoconsumo, o como pesca deportiva. La acuicultura en cambio, es una actividad que ha ido creciendo en la cuenca, principalmente con especies de escama, como la tilapia y el bagre, así como el langostino. Se desarrolla ya sea de manera semi-intensiva en canales de corriente rápida (*raceways*), en jaulas flotantes, así como en forma semi-extensiva en estanquería rústica. En la cuenca se ubican nueve granjas acuícolas, ubicadas en los municipios de Altamira (1), Gómez Farías (1), Xicoténcatl (4) y Mante (3). Estas se dedican principalmente a la producción de crías y de engorda de tilapia y bagre ([CONAPESCA-UANL, 2005](#)).

Los plantíos forestales son apenas unos cuantos terrenos sembrados en los últimos cinco años, sin que los árboles alcancen el tamaño comercial aún, excepto en el caso de cedro. Dentro de las especies taladas destacan el cedro blanco, el pino, el encino, el cerón, la palma y el mezquite ([INFDMP, 2005](#)). Las especies cultivadas son cedro (*Cedrela odorata*) melina (*Gmelina arborea*), árbol de teca (*Tectona grandis*) y *Pawlonia elongata*, en González, Ocampo y Mante. La producción de maderas tropicales, propias de las selvas medinas y bajas de la cuenca Guayalejo-Tamesí, ha ido en aumento. Destacan entre las especies de afinidad tropical *Cedrela odorata*, *Enterolobium coclocarpum*, *Phoebe tampicensis*, *Guazuma ulmifolia* y *Bursera simaruba*.

Dentro de la actividad forestal no maderable, que también ha ido en aumento, destaca la producción de orégano en los municipios de Jaumave y Llera; la palmilla cameador en Gómez Farías, Llera, Mante y Ocampo; las hojas de la palma real en Antiguo Morelos; el chamal (*Dioon edule*) sobre la sierra Madre; la producción de cactáceas, lechuguilla y piñón en el Altiplano. Los datos más recientes a nivel estatal, según [OEIDRUS \(2011\)](#) muestran que el volumen mayor de producción de especies no maderables son de Palma Real (3,337 toneladas) y lechuguilla (1,851 toneladas).

La producción minera no petrolera en la cuenca es una actividad económica de poca importancia, debido a que los yacimientos son pobres tanto en volumen como en ley ([UAT, 2001](#)). Se desarrolla básicamente como extracción de cal, grava, barita, fluorita y yeso, y en menor nivel metales como plata, plomo y zinc. En Antiguo Morelos se reportan pequeños yacimientos de fluorita y barita, no explotados a nivel comercial; y sobre la Sierra de Cucharas existe una productora de cal hidratada ([UAT, 2001](#)). En Gómez Farías se reporta ([INFDMP, 2005](#)) la extracción de metales como oro, plata, plomo y mercurio; y algunos minerales no metálicos entre los que destacan calcita, fluorita y barita. Para Llera se reporta la producción a baja escala de oro, plata, zinc, plomo, cobre, antimonio y mercurio. En Miquihuana existe una baja producción de oro, plata, plomo, cobre, zinc, fluorita, barita y alabastro.

De las seis agroindustrias de la región centro-sur de Tamaulipas, la Azucarera se constituye como la de mayor importancia en su tipo, tanto por su número de trabajadores como por su producto de exportación. Los ingenios de Mante y Xicoténcatl producen azúcar, mientras que en Mante y Llera se produce etanol. Procesadoras de cítricos se

ubican en los municipios de Llera y Victoria, mientras que en Jaumave y González se encuentran industrias extractoras de jugo de sábila, tanto para consumo nacional como de exportación.

La industria textil es la que más se encuentra representada dentro de su tipo en la cuenca, ya que cuenta con plantas de diferentes tamaños, principalmente en Madero, Altamira, González, Mante y Tampico. No obstante, destacan por su tamaño y volumen de producción las industrias dedicadas a la producción de hule, plástico, papel, maquinaria, equipo y otros productos metálicos, ubicadas en el Corredor Industrial de Altamira. Industrias dedicadas a la fabricación en pequeño de productos metálicos se ubican en las cabeceras municipales de Mante, González y Altamira. Los municipios en los que existe este tipo de industria son principalmente aquellos en los que se cuenta con un parque o corredor industrial bien establecido, es decir, los de la **ZCTMA** y Victoria. En éstos se maquilan productos textiles, electrónicos y autopartes. Fuera de ellos, las maquiladoras producen ropa en Jaumave, Palmillas y González y autopartes en Mante.

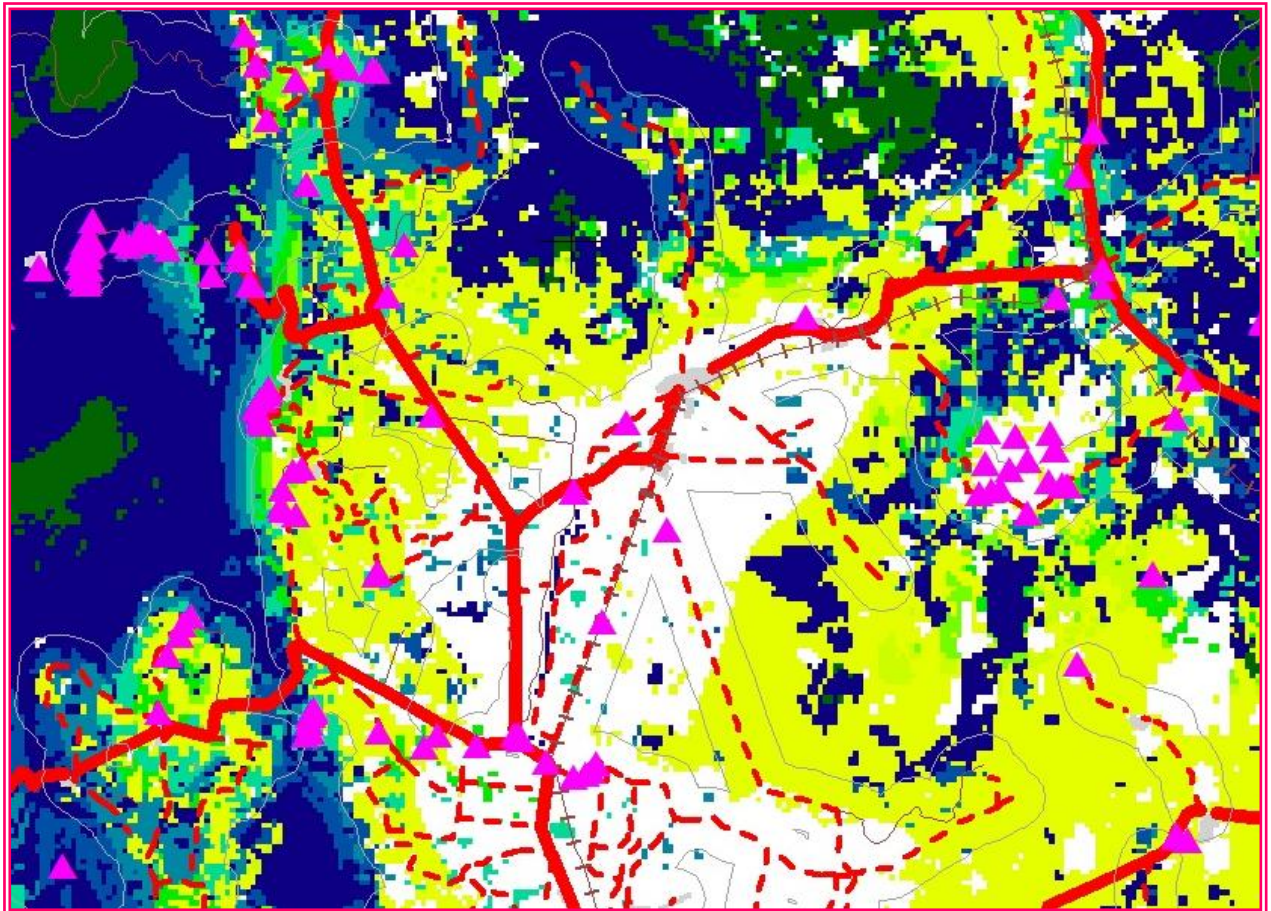
Tamaulipas destaca a nivel nacional por su generación de químicos y petroquímicos, que alcanza el 30% de la producción nacional. Destacan el negro de humo, con el primer lugar nacional, las resinas termoplásticas y las resinas totales, ambas con el 80% ([Gob-Edo, sin año](#)). Los petroquímicos son producidos principalmente en la **ZCTMA**, que al 2000 contaba con 18 empresas de este giro con una producción conjunta de 2.3 millones de toneladas de productos ([UAT, 2001](#)).

En Ciudad Madero se ubica la Refinería Madero, que ha sido considerada entre las más modernas de Latinoamérica. Sus productos son gasolinas, queroseno, diesel, combustóleo, asfalto, dodecibenceno, estireno y butadieno; éstos sirven como base para la fabricación de los productos químicos y petroquímicos de la **ZCTMA** ([Gob-Edo, sin año](#)). Esta producción ha sido el principal detonador que convierte a la **ZCTMA** en un polo de desarrollo regional, contribuyendo, de acuerdo con [Vera \(2004\)](#), al funcionamiento socioeconómico de la cuenca, pues se constituye como un eje de vinculación regional que provoca su importante dinámica socioeconómica.

Según [INEGI \(2000a\)](#), de la población dedicada a las actividades económicas primarias, secundarias y terciarias, la mayoría se dedica al comercio y servicios, con un 64% de este sector poblacional. Le siguen los empleados del sector de la transformación, con un 25% y finalmente las actividades extractivas ocupan 11% de la población.

Por municipio, lógicamente las mayores zonas urbanas presentan un mayor sector poblacional dedicado a las actividades secundarias y terciarias. Así sucede con las actividades terciarias en Tampico (72%), Victoria (69%), Ciudad Madero (67%) y Altamira (52%). Cabe mencionar que en los municipios de Tampico y Ciudad Madero, una parte importante de la población dedicada a la actividad primaria laboran en el sector minero, específicamente en las actividades petroleras; son el 38% en el primer caso y 82% en el segundo ([INEGI, 2000a](#)).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA



Detalle del proceso intermedio del modelo de Belleza Escénica

*“All models are wrong. The practical question is:
how wrong do they have to be not be useful”
(Driss Ennanay. Natural Capital Project)*

III.1. Etapas generales del trabajo

Las evaluaciones de los SSAA en la Cuenca requirieron de la integración en un SIG con los diferentes parámetros de los sistemas Biótico, Abiótico y Humano, así como de valores socioeconómicos de los SSAA. Para la adecuada integración de dichos parámetros, se buscó que la información y datos geográficos, espaciales, estadísticos y de otra índole contaran con la mayor calidad y actualidad posible. No obstante, por diferentes motivos no siempre fue posible obtener tal rigurosidad en los mismos; por tanto, es necesario aclarar que:

Aunque podría haber otra información de mayor calidad y actualidad, **la utilizada en el presente trabajo es sólo la que estuvo disponible a través de los recursos propios del mismo.**

La metodología a seguir fue ideada originalmente para este trabajo, aunque posteriormente se encontró que el procedimiento general coincide con lo planteado por [Hein, et al. \(2006\)](#), quienes sugieren un seguimiento de cuatro etapas, desde la delimitación del terreno a evaluar, el análisis de los SSAA del sitio, la valuación de cada uno de ellos y su agregación para comparar sus valores (Figura III.1-1).

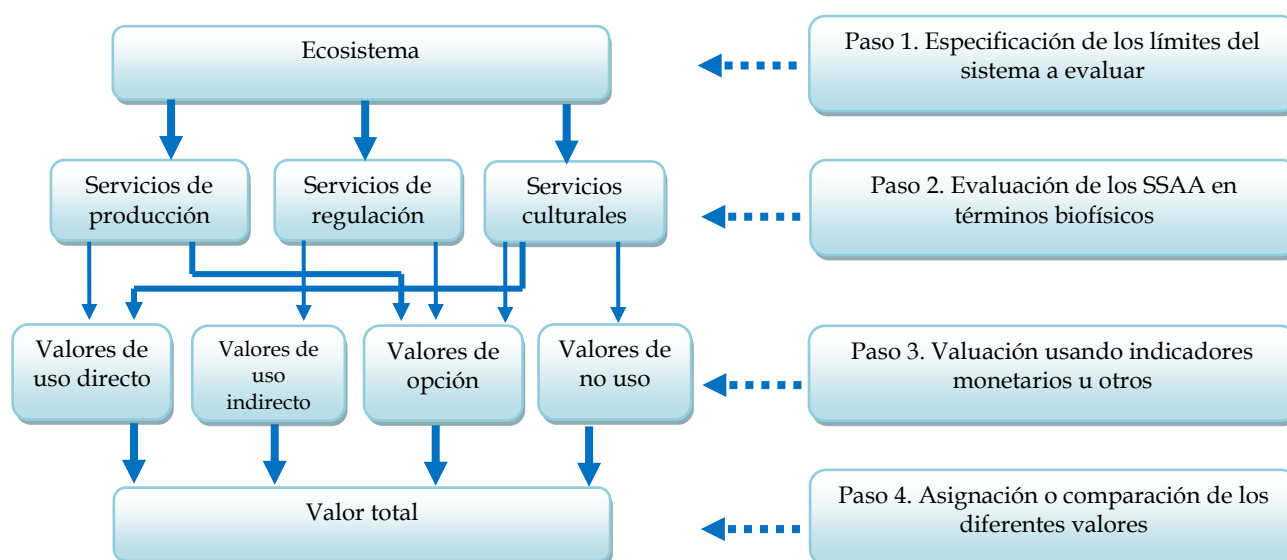


Figura III.1-1. Estructura de la valuación de SSAA (tomado de [Hein, et al., 2006](#))

El procedimiento general consistió en, una vez obtenidos los mapas base y datos asociados, la identificación geográfica y evaluación por separado de cada uno de los nueve SSAA, para posteriormente asignarles su valor socioeconómico en cada una de las celdas que constituyen el mapa del SSAA evaluado. Con la suma ponderada de éstos, se obtuvo el valor total de cada celda en el mapa, para finalizar con una propuesta de ordenación basada en estos valores.

El presente estudio se realizó mediante las siguientes etapas, que no necesariamente siguen un orden temporal.

1. PREPROCESO. Identificar y caracterizar los servicios ambientales en la cuenca, que sean susceptibles de ser analizados mediante un SIG:
 - Obtención de datos e información digital para procesar (*shapefiles*, bases de datos, imágenes de satélite, fotografía aérea, etc.)
 - Diseño y/o adaptación de métodos adecuados (antecedentes para cada tipo de SSAA, tanto de carácter biofísico como social, cultural, económico).
 - Preparar (pre-procesar) y procesar la información para ubicar y cuantificar espacialmente los servicios ambientales. Incluye capacitación en los procesadores de información geoespacial ARCGIS 9.2 y ERDAS 9.2.
 - Composición del componente básico para los análisis: mapa de vegetación y uso de suelo, a través de la clasificación supervisada de imágenes de satélite en una serie multitemporal (2006-2011) del sensor MODIS.
2. ANÁLISIS Y MODELACIÓN. Realizar análisis causa-efecto para encontrar y desarrollar indicadores que permitan el diagnóstico del estado actual de los servicios ambientales. Se propone, independientemente de su clasificación, evaluar los siguientes servicios presentes en el área de estudio:

Servicios valorados regionalmente:

Contribución a la salud humana;

Contribución a la economía regional y local.

Belleza escénica: Valores paisajísticos

Provisión de agua como indicador de la Recarga de acuíferos.

Mejoramiento de la calidad del agua.

Servicios valorados mundialmente:

Captura y fijación de carbono

Hábitat para la Biodiversidad

3. EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y PROPUESTAS

A) Valoración socioeconómica.

B) Diseñar estrategias geoespaciales para uso y gestión sostenibles de la cuenca de acuerdo con sus valores socioeconómicos.

III.2. Materiales

A continuación se enumeran y describen los materiales de información cartográfica, imágenes de satélite y banco de fotografías utilizados de forma general en el presente trabajo. Posteriormente, en la descripción metodológica de los SSAA se describe la información usada en particular.

III.2.1. Información cartográfica

Los cuadros III.2.1-1, III.2.1-2 y III.2.1-3 resumen la información cartográfica por sistema natural o social de la cuenca.

Cuadro III.2.1-1. Cartas digitales usadas principalmente en el Sistema Natural, Factores Abióticos

Temática	Mapa	Tipo	Fuente
Fisiografía	Provincias fisiográficas	Vector: polígono	INEGI
Topografía	Curvas de nivel	Vector: línea	INEGI
Topografía	Modelo digital de elevación	Grid (100m)	(Cantú, 2005)
Geología	Geología	Vector: polígono	INEGI
Edafología	Suelos	Vector: polígono	INEGI, 2000
Hidrología	Límites de cuenca	Vector: polígono	INEGI
Hidrología	Cuerpos de agua	Vector: polígono	INEGI
Hidrología	Hidrología subterránea	Vector: polígono	INEGI
Hidrología	Afluentes	Vector: línea	INEGI
Hidrología	Registros hidrometeorológicos de estaciones	Vector: punto	Conabio-Imta, 2001
Climatología	Tipos de clima	Vector: polígono	UAT
Climatología	Elementos principales	Vector: polígono	UAT
Climatología	Balance hídrico (con Landsat, sin corregir por el INE)	Grid (100m)	ITESM, 2005

Cuadro III.2.1-2. Cartas digitales usadas principalmente en el Sistema Natural: Factores Bióticos

Temática	Mapa	Tipo	Fuente
Vegetación y Uso de Suelo	Vegetación y Uso de Suelo 1976 (Serie I)	Vector: polígono	INEGI, 1976
Vegetación y Uso de Suelo	Vegetación y Uso de Suelo 2000 (INF)	Vector: polígono	UNAM, 2000
Vegetación y Uso de Suelo	Vegetación y Uso de Suelo 2005 (Serie III)	Vector: polígono	INEGI, 2005
Vegetación y Uso de Suelo	Vegetación y Uso de Suelo 2008	Vector: polígono	Actualización del INF (Requena, 2008)
Fauna	Registros de Biodiversidad	Vector: punto	CONABIO, 2000
ANPs	Áreas Naturales Protegidas	Vector: polígono	CONANP, 2008
RTPs	Regiones Terrestres Prioritarias	Vector: polígono	CONABIO
AICAs	Áreas de importancia para la conservación de las aves	Vector: polígono	CONABIO, 1999
Servicios ambientales	Sitios de pago por servicios ambientales	Vector: polígono	CONAFOR, 2009
Vegetación y Uso de Suelo	Tipificación del Cambio de uso del suelo 1973-2008	Grid (100m)	Requena, 2008

Cuadro III.2.1-3. Cartas digitales usadas principalmente en el Sistema social-productivo

Temática	Mapa	Tipo	Fuente
Vías de comunicación	Mapa base, carreteras y líneas de FFCC	Vector: línea	INEGI
Límites municipales	Mapa base	Vector: polígono	INEGI, 2006
Manchas urbanas	Mapa base, poblados	Vector: polígono	INEGI, 2010
Poblaciones	Mapa base, con datos poblacionales	Vector: punto	INEGI, 2010

III.2.2. Imágenes de satélite

Un conjunto de imágenes LANDSAT con sensores MSS, TM y ETM+, cortesía de la UAT (2001), así como del sistema EROS de la NASA (<http://www.usgs.gov/>), se utilizaron como apoyo en la clasificación supervisada de las imágenes de moderada resolución para el mapa de vegetación y uso del suelo. El Cuadro III.2.2-1 muestra sus datos generales.

Cuadro III.2.2-1. Imágenes Landsat usadas en el estudio.

Sensor	Resolución espectral	Resolución radiométrica	Path-Row de imagen	Fechas aa-mm-dd
MSS	5 bandas	78 m Multiband 50 m	2544a 2544b 2644a 2644b 2744a 2744b 2743a	72-11-09 85-10-30 90-10-20 73-05-27 73-05-27 86-03-14 92-04-07 73-05-10 73-03-17
TM	7 bandas	28.5 m multi B. 20 m	2544 2644 2744	00-04-22 00-04-22 00-01-08
ETM+	SD	SD	SD	mosaico del estado de Tamaulipas, (ITESM, 2005)
Landsat 7	9 bandas (61, 62 y 80), separadas en archivos <i>geotiff</i>	Obtenidas del sistema EROS, con ruido por <i>banding</i>	2644 2645 2743 2744 2745	08-10-06 08-12-25 09-08-12 09-02-10 09-02-10

Las imágenes de resolución moderada usadas en este trabajo fueron del tipo **MODIS** del Sistema de Respuesta Rápida (*Rapid Response System*) de la NASA. Este sistema es actualmente parte del Servicio casi Simultáneo Terrestre/Atmosférico para el Sistema de Observación de la Tierra (LANCER, **psei**). A través de su página Web (<http://lance.nasa.gov/imagery/rapid-response/>), pone a disposición del público dos imágenes **MODIS** diarias, de cobertura global clasificada por regiones (o "*subsets*"). Los *subsets* correspondientes al área de estudio son CAmérica_1_02 (norte) y CAmérica_2_02 (sur).

La primera imagen del día es captada por el satélite TERRA, alrededor de las 13.00 horas locales; la segunda la capta el satélite AQUA aproximadamente a las 17:00, hora local. Cada imagen es procesada, corregida y georreferenciada para ser ofrecida al público como GEOTIFF (coordenadas geográficas con Datum WGS-84), en tres modalidades: Colores reales, **NDVI** y falso color (bandas 7-2-1), disponibles en diferentes formatos y resoluciones espaciales ya mencionadas (NASA/GSFC, *Rapid Response*).

Todos los productos **MODIS** disponibles al público son procesados con un algoritmo de reflectancia especial corregida, que permite que las imágenes tengan una apariencia natural. Este algoritmo se deriva del de reflectancia de la superficie terrestre, MxD09, que remueve los efectos atmosféricos más burdos de las primeras siete bandas. En presencia de aerosoles atmosféricos, puede haber diferencia en la calidad de la imagen de ambos algoritmos, pero cuando las condiciones atmosféricas son claras, la calidad es “muy similar” (NASA/GSFC, *Rapid Response*). Esto respalda el uso de imágenes sin nubes y con nula o escasa presencia de aerosoles para este trabajo.

Este tipo de imágenes tienen como objetivo la medición de un grupo de procesos físicos y biológicos tanto de la superficie terrestre, los océanos y la atmósfera baja. El arreglo óptico de los sensores permite la captación de un espectro de 36 bandas que abarcan desde 0.4 a 14.5 μm , que se seleccionaron por su “importancia en el diagnóstico para las ciencias de la tierra”. La resolución espacial varía de acuerdo a las bandas, y puede ser de 250, 500 y 1000 metros en el Nadir (Parkinson y Greenstone, 2000).

Para coleccionar las imágenes de este estudio, se realizó una revisión visual de cada *subset* desde enero de 2002 a octubre de 2011, del archivo de imágenes diarias del sistema (<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/>). No obstante, sólo se descendieron para su proceso las correspondientes al periodo 2006-2011, debido a que para fechas anteriores no se tienen imágenes disponibles en la combinación 7-2-1.

Se obtuvo una colección de imágenes (de una a tres combinaciones de bandas mencionadas) correspondientes a 64 fechas (Cuadro III.2.2-12) que forman una escena completa del área de estudio sin nubes (0-1%); y complementariamente con aquellas de 10% o menos de cobertura, para tratar de abarcar todas las estaciones del año. El primer proceso fue la formación de mosaicos (en formato .img), de los cuales se seleccionó posteriormente el área de interés (AOI).

Cuadro III.2.2-2. Mosaicos de imágenes MODIS (Formato .img) utilizadas en el presente trabajo. En resalte las que se preseleccionaron para el siguiente nivel de proceso.

No.	Satélite	Composición óptica obtenida	Número MODIS	Fecha	Ciclo estac.	Humedad	Observaciones
1	Aqua	True color, ndvi,721	2006034	Feb-03	Inv.	28.63mm	
2	Aqua	True color, ndvi	2006302	Oct-29	Oto		
3	Terra	True color, ndvi	2006319	Nov-15	Oto		
4	Terra	True color, ndvi	2006321	Nov -17	Oto		
5	Aqua	True color, ndvi	2006360	Dic-17	Inv.		
6	Terra	True color, ndvi,721	2006360	Dic-17	Inv.	1073.92 mm	
7	Aqua	True color, ndvi	2006363	Dic-20	Inv.		
8	Terra	True color, ndvi,721	2007049	Feb-18	Inv.	123.18 mm	
9	Aqua	True color, ndvi	2007051	Feb-20	Inv.		
10	Terra	Ndvi	2007100	Abr-14	Prim		incendio
11	Terra	Ndvi	2007304	Oct-31	Oto		
12	Terra	Ndvi	2007338	Dic-04	Oto		
13	Aqua	True color, ndvi	2007365	Dic-31	Inv.		
14	Aqua	True color, ndvi	2008006	Ene-06	Inv.		incendio
15	Aqua	True color, ndvi	2008032	Feb-01	Inv.		incendio
16	Aqua	Ndvi	2008054	Feb-23	Inv.		
17	Aqua	True color, ndvi	2008065				bruma
18	Terra	True color, ndvi	2008101	Abr-10	Prim-MS	i-stm-ok	
19	Terra	True color, ndvi	2008123				Bruma
20	Terra	True color, ndvi, 721	2008144	May-23	Prim	3.81 mm	

Continúa...

Cuadro III.2.2-2. Mosaicos de imágenes MODIS... (Continuación)

No.	Satélite	Composición óptica obtenida	Número MODIS	Fecha	Ciclo estac.	Humedad	Observaciones
21	Aqua	True color, ndvi,721	2008347	Dic-12	Oto	0mm t, 136 v	
22	Aqua	True color, ndvi	2008358	Dic-23	Inv-H		Bruma
23	Terra	ndvi	2009013	Ene-13			
29	Aqua	True color, ndvi	2010023	Ene-23			
24	Terra	True color, ndvi	2009032	Feb-02			
25	Terra	ndvi	2009034	Feb-03			
26	Terra	True color, ndvi	2009055	Feb-24			
30	Terra	True color, ndvi	2010056	Feb-25		257.81 mm	
31	Terra	True color, ndvi	2010060	Mar-01			
27	Terra	ndvi	2009061	Mar-02			
32	Aqua	True color, ndvi	2010071	Mar-11			dif. Color TC y ndvi
28	Terra	Ndvi,721	2009093	Abr-23	Pr-s	16.51 fym	
33	Aqua	True color, ndvi	2010115	Abr-25			dif. Color TC y ndvi
34	Terra	True color, ndvi	2010115	Abr-25			dif. Color TC y ndvi
35	Aqua	True color, ndvi, 721	2010119	Abr-29		179.32 mm	dif. Color TC y ndvi
36	Terra	True color, ndvi	2010120	Abr-30			dif. Color TC y ndvi
37	Aqua	ndvi	2010121	May-01			No hay tiff 2_02. Ndvi-px dif. Color TC
38	Aqua	True color, ndvi	2010123	May-03			
39	Aqua	ndvi	2010125	May-05			No hay tiff de 1_02, Ndvi-px
40	Aqua	Ndvi,721	2010126	May-06		179.32 mm	Ndvi-px
41	Terra	True color, ndvi,721	2010156	Jun-05		0mm	NUBES en miqui. Ndvi-px, dif. Color TC
42	Terra	True color, ndvi,721	2010304				Bruma Xico, pixelada
43	Terra	ndvi,721	2010309	Nov-05		462.79 mm s, o=0	Perfc-MX
44	Aqua	True color, ndvi,721	2010309	Nov-05			Bruma
45	Aqua	-	2010331	Nov-27			nube
46	Aqua	-	2010333	Nov-29			Bruma
47	Aqua	True color, ndvi,721	2010338	Dic-04		462.79 mm s,o,n,d	perfecto
48	Aqua	True color, ndvi,721	2010343	Dic-09		1.27 mm, o,n,d	Bruma
49	Aqua	-	2010345	Dic-11			bruma
50	Terra	-	2010345	Dic-11			Bruma, pixelada
51	Aqua	-	2010363	Dic-29			Nube Cielo
52	Terra	-	2010364	Dic-30			Bruma,
53	Aqua	-	2011010	Ene-10			Bruma-llera
54	Aqua/terra	-	2011060	Mzo-01			Bruma-salada (aq)
55	Terra	True color, ndvi	2011066	Mzo-07			(Pix. no hay 2_02-721)
56	Aqua	721	2011067	Mzo-08		0	
57	Aqua/terra	-	2011070	Mzo-11			Bruma aq+ Terra ok?
58	Terra	-	2011095	Abr-05			Bruma Ocampo
59	Terra	True color, ndvi, 721	2011102	Abr-12		0f,m,a:Máxima sequía	Bruma. última img Cielo antes del fuego
60	terra	-	2011252	Sep-09			Bruma, Muy pixl
61	aqua	True color, ndvi,	2011293	Oct-20			no hay 2_02-TC
62	terra		2011293	Oct-20			Bruma miqui, pixelada
63	terra	True color,, ndvi, 721	2011294	Oct-21		384.81 mm humedad	Nube Tampico
64	terra	True color, ndvi,721	2011303	Oct-30			

Posteriormente, las imágenes preseleccionadas y otras de prueba fueron extraídas mediante el proceso Subset del procesador ERDAS Imagine 9.2™. De esta forma se generó un mosaico de un AOI, correspondiente al centro y sur de Tamaulipas y que cubre una superficie de 370 x 270 Km (Figura III.2.2-1).

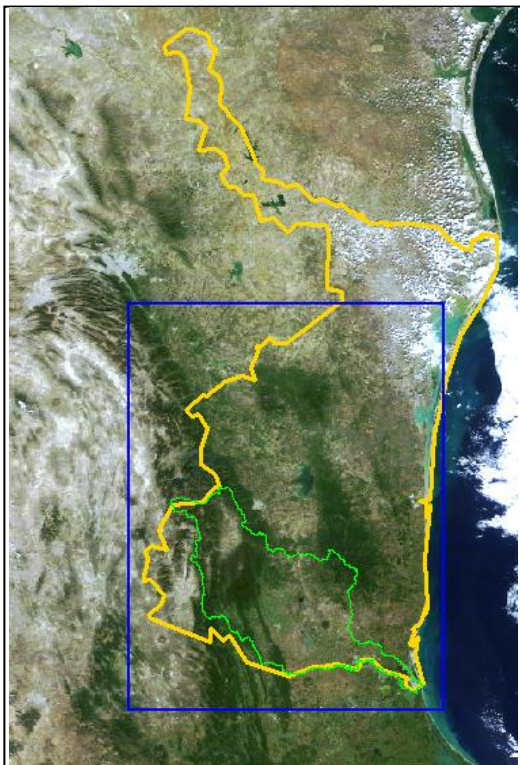


Figura III.2.2-1. Muestra el AOI (delineado azul), Tamaulipas, así como el área de estudio (delineada en verde).

Una vez obtenidos los AOI, se procedió a un análisis visual y de calidad de las imágenes, para eliminar aquellas que no presentaran las características adecuadas para someterse al siguiente nivel de proceso. Se seleccionaron así 16 imágenes. El Cuadro III.2.2-3 muestra las escenas seleccionadas y sus datos para usarse en el presente trabajo.

A manera de ensayo, se clasificaron por el método no supervisado diferentes arreglos ópticos de las imágenes. Así, se observó la conveniencia de trabajar clasificando en forma supervisada la combinación 7-2-1 para obtener la cobertura del terreno e índices de verdor; mientras que para obtener parámetros y complemento visual a partir del NDVI se debería usar la clasificación no supervisada.

La combinación de colores verdaderos se usó como apoyo en el análisis visual y definición de sitios de entrenamiento para obtener las firmas espectrales.

Cuadro III.2.2-3. Mosaicos de imágenes MODIS del AOI, la combinación de bandas disponible por imagen y el tipo de clasificación aplicada. Se resaltan aquellas que se usaron para los siguientes niveles de proceso (imágenes de trabajo definitivas).

Clave	Satélite	True color	NDVI	721	AOI	Clas. NSup	Clas. Sup.
2003313	Aqua	*	-	-			
2006034	Aqua	*	*	*	tc,ndvi,721	tc,ndvi,721	721
2006302	Aqua	*	*		tc,ndvi		
2006319	Terra	*	*		tc,ndvi		
2006321	Terra	*	*		tc,ndvi		
2006360	Aqua	*	*		tc,ndvi		
2006360	Terra	*	*	*	tc,ndvi,721	tc,ndvi,721	721
2006363	Aqua	*	*		tc,ndvi		
2007049	Terra	*	*	*	tc,ndvi,721	tc,ndvi,721	721
2007051	Aqua	*	*		tc,ndvi		
2007100	Terra	-	*		ndvi		
2007304	Terra	-	*		ndvi		
2007365	Aqua	-	*		tc		
2007388	Terra	-	*		ndvi		
2008006	Aqua	*	*		tc,ndvi		
2008032	Aqua	*	*		tc,ndvi		
2008054	Aqua	-	*		ndvi		
2008065	Aqua	*	*		tc,ndvi		
2008101	Terra	*	*		tc,ndvi		
2008123	Terra	*	*		tc,ndvi		
2008144	Terra	*	*	*	tc,ndvi,721	ndvi	721
2008347	Aqua	*	*	*	tc,ndvi,721	ndvi	721
2008358	Aqua	*	*		tc,ndvi		
2009013	Terra	-	*		ndvi		
2009032	Terra	*	*		tc,ndvi		
2009034	Terra	-	*		ndvi		

Continúa...

Cuadro III.2.2-3. Mosaicos de imágenes MODIS... (Continuación)

Clave	Satélite	True color	NDVI	721	AOI	Clas. NSup	Clas. Sup.
2009055	Terra	*	*		tc,ndvi		
2009061	Terra	-	*		ndvi		
2009093	Terra	-	*	*	ndvi,721	ndvi	721
2010023	Aqua	*	*		tc,ndvi		
2010056	Terra	*	*		tc,ndvi		
2010060	Terra	*	*		tc,ndvi		
2010071	Aqua	*	*		tc,ndvi		
2010115	Aqua	*	*		tc,ndvi		
2010115	Terra	*	*		tc,ndvi		
2010119	Aqua	*	*	*	tc,ndvi	ndvi	721
2010120	Terra	*	*		tc,ndvi		
2010121	Aqua	-	*		ndvi		
2010123	Aqua	-	*		ndvi		
2010125	Aqua	-	*		ndvi		
2010126	Aqua	-	*	*	ndvi,721	ndvi	721
2010156	Terra	*	*	*	tc, ndvi,721	ndvi	721
2010309	Terra	-	*	*	ndvi,721	ndvi	721
2010338	Aqua	*	*	*	tc, ndvi,721	ndvi	721
2010343	Aqua	*	*	*	tc, ndvi,721	ndvi	721
2011066	Terra	*	*	-	tc, ndvi-pixl		
2011067	Aqua	*	*	*	tc, ndvi,721	ndvi	721
2011102	Terra	*	*	*	tc, ndvi,721	ndvi	721
2011200 Julio 30% nb	Terra	*	*	*	tcp, ndvi, 721		
2011293	Aqua	-	*	*	ndvi,721		
2011294	Terra	*	*	*	tc, ndvi,721	ndvi	721
2011303	Terra	*	*	*	tc, ndvi,721	ndvi	tc, 721

III.2.3. Banco de imágenes fotográficas en campo

Durante el periodo de trabajos de campo, que comprendió desde 2002 a 2007 y una visita en 2011, se capturaron fotografías que además comprenden todas las estaciones climáticas para los años 2003 a 2006, así como de mayo de 2011. El banco de imágenes integra poco más de 3,440 fotografías de diversos aspectos biofísicos y sociales de sitios representativos de la cuenca y sus inmediaciones.

III.3. Software y herramientas electrónicas

Los programas utilizados para los procesos generales de la información geográfica y espacial fueron ArcView 3.2 y ArcGIS 9.2 (de ESRI) y Erdas Imagine 9.2 (de LEICA). En la modelización biofísica y la evaluación socioeconómica de la mayoría de los SSAA se utilizó el módulo InVEST (Tallis, 2010 *et. al*, por parte de *The Natural Project*) versión 1.005 (para ArcGIS 9.2).

Dentro de las herramientas de Internet, el Google Earth™ fue utilizado ampliamente para el análisis visual de imágenes de varias fechas (recientes) y resoluciones (Spot™, Geoeye™, Digital Globe™). Se aprovechó también la ventaja de que proporciona el servicio de fotografías de los sitios, tanto de vista sobre el terreno, como compartidas por el público en general. Google Documents™, sirvió como almacén y captura de encuestas para la evaluación de paisaje. Así mismo la red social Facebook™, sirvió como plataforma para captar población originaria de la Cuenca, apta para responder a la encuesta e interesada por los paisajes locales.

III.4. Procesos y análisis

III.4.1. Identificación de las comunidades vegetales y los usos de suelo

III.4.1.1. Clasificación supervisada de imágenes MODIS

Se practicó una clasificación supervisada a 16 imágenes de resolución moderada del sensor **MODIS**, con las características y los pre-procesos mencionados, procesadas en falso color con las bandas 7, 2 y 1 (Cuadro III.4.1.1-1).

Cuadro III.4.1.1-1. Características de las bandas de la combinación 7-2-1 usada en este proceso.

Banda	Color	Longitud de onda central (nm)	Tamaño de banda (nm)	Tamaño de pixel (m)	Radiancia espectral en condiciones típicas
1	B= infrarrojo de onda corta, SWIR	645.0	48.0	250	21.8
2	G= infrarrojo cercano, NIR	856.5	38.4	250	24.7
7	R= rojo	2114.1	55.7	500	1.0

Fuente: [Parkinson y Greenstone, 2000](#).

Esta composición es recomendada por el (**NASA/GSFC, Rapid Response**), debido a que diferencia fácilmente los cuerpos de agua, la vegetación, los suelos desnudos, las zonas incendiadas e incluso sitios con nieve o hielo. Sólo la imagen de diciembre de 2006 presenta nevadas en la zona, sobre las montañas altas de Miquihuana y en cantidad no significativa; se clasificaron como “nubes” y no se incluyeron en los procesos. La Figura III.4.1.1-1 muestra la imagen de febrero de 2010, para ilustrar los tipos generales distinguidos por esta combinación de bandas.

El mapa de vegetación y uso de suelo, se generó a partir de la clasificación supervisada del área de estudio sobre 16 *subsets* de imágenes **MODIS** (Cuadro III.4.1.1-2); para ello, se utilizó el módulo *supervised classification* de ERDAS Imagine™ 9.2. En primera instancia, se digitalizaron sitios de entrenamiento para coleccionar las firmas espectrales de las clases de cobertura y otros aspectos generales y específicos de cada imagen a clasificar.

Cuadro III.4.1.1-2. *Subsets* de imágenes MODIS clasificadas para encontrar las coberturas de vegetación y del uso del suelo.

No.	Satélite	Número MODIS	Fecha	No.	Satélite	Número MODIS	Fecha
1	Aqua	2006034	Feb-03	9	Aqua	2010126	May-06
2	Aqua	2006360	Dic-17	10	Terra	2010156	Jun-05
3	Terra	2007049	Feb-18	11	Aqua	2010338	Dic-04
4	Terra	2008144	May-23	12	Terra	2010309	Nov-05
5	Aqua	2008347	Dic-12	13	Aqua	2010343	Dic-11
6	Terra	2009093	Abr-23	14	Aqua	2011067	Mzo-08
7	Terra	2010056	Feb-25	15	terra	2011294	Oct-21
8	Aqua	2010119	Abr-29	16	terra	2011303	Oct-30

Los sitios de entrenamiento (Figura III.4.1.1-2) se eligieron de acuerdo con el conocimiento del lugar y con apoyo del visualizador Google Earth™, de los mapas de vegetación y uso del suelo del INF ([UNAM, 2000](#)) y de [INEGI \(2005\)](#), así como con una categorización elaborada en ArcView 3.2 de la imagen tomada como modelo (correspondiente al mes de abril de 2010), en color real, en **NDVI** y en bandas 7-2-1.

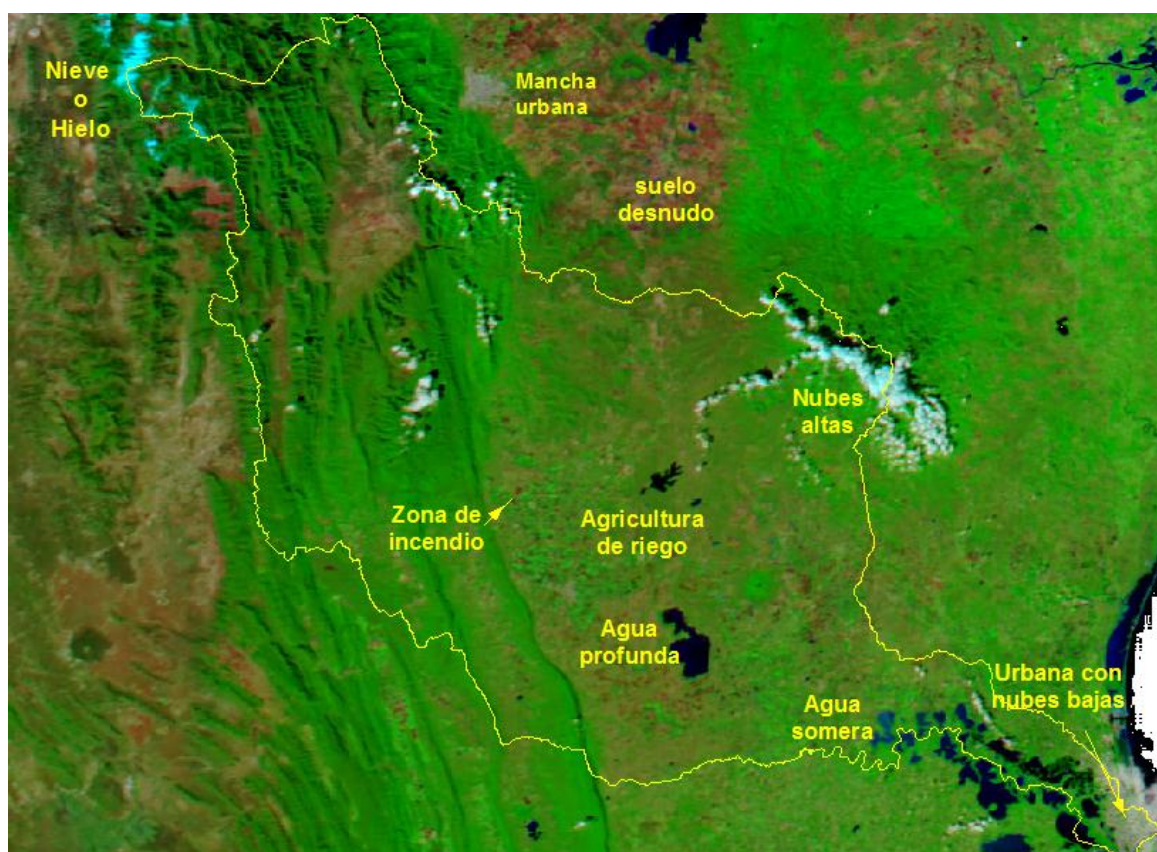


Figura III.4.1.1-1. Fragmento del mosaico de escenas CAmérica_1_02 y CAmérica_2_02 del satélite Aqua, bandas 7-2-1, para el día 4 de febrero de 2010 (cortesía de NASA/GSFC, *Rapid Response*). Se señalan los límites de la cuenca y los principales aspectos diferenciables en la imagen.

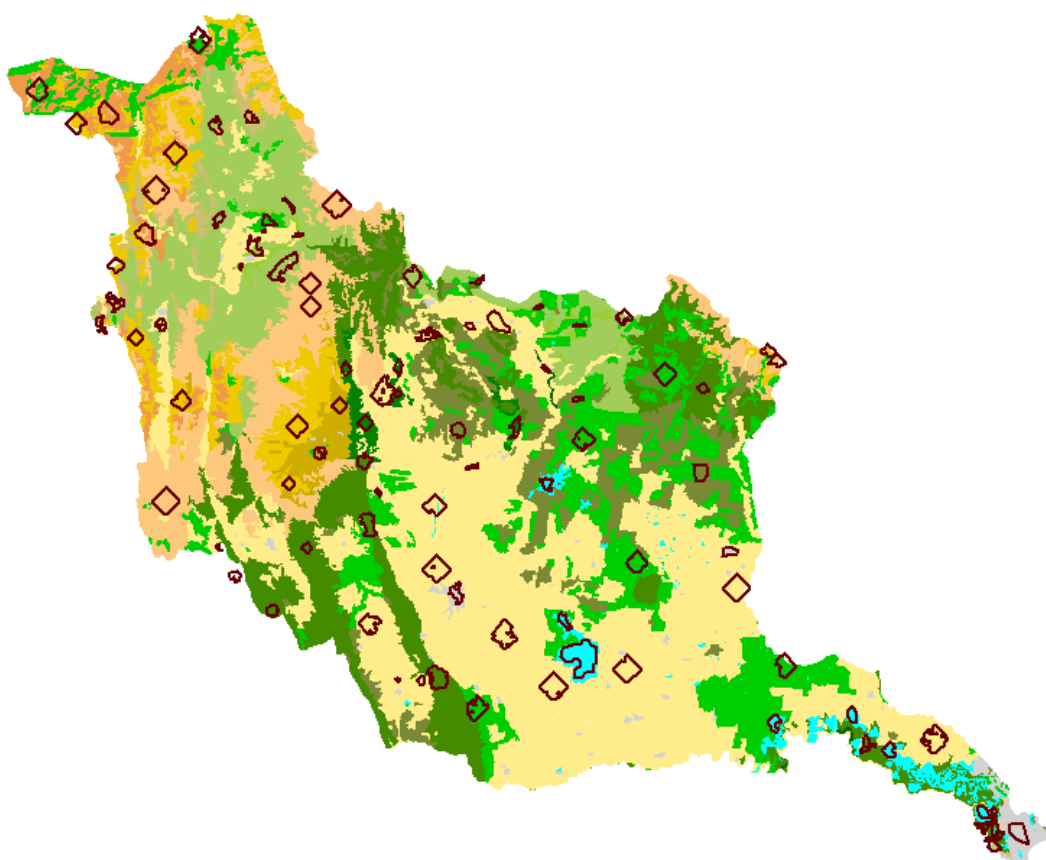


Figura III.4.1.1-2. Sitios de entrenamiento (generales) para coleccionar las firmas espectrales de las imágenes a clasificar.

Además de los sitios de entrenamiento generales, en cada imagen particular fue necesario ya sea adaptar, cambiar o eliminar algunos de ellos; además, se agregaron algunos particulares, para clasificar por separado las sombras (especialmente en las imágenes Aqua), algunas nubes, bruma o trazos de zona incendiada (*hot-spots*). Los sitios de entrenamiento usados en general y en específico se muestran en el Cuadro III.4.1.1-3.

Cuadro III.4.1.1-3. Sitios de entrenamiento empleados para obtener las firmas espectrales de las imágenes a clasificar. Indican el tipo de cobertura (o evento atmosférico en las específicas) y el sitio.

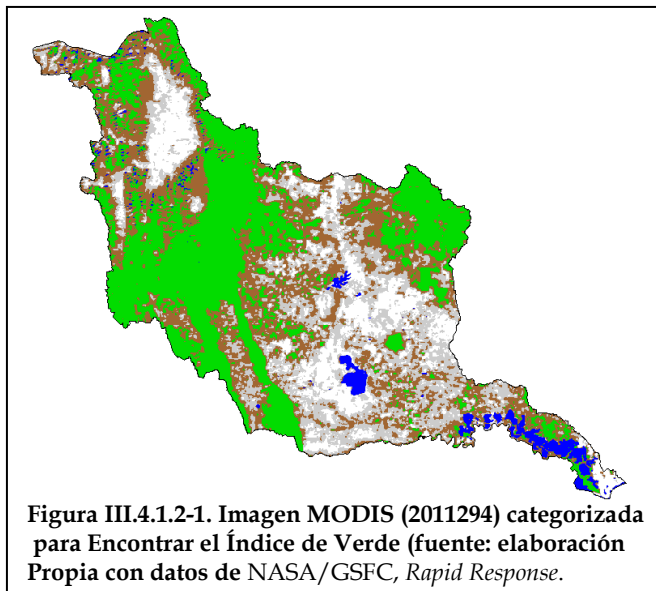
GENERALES:	BE-cielo	MSM-jauE	SBC-volc1
AGR-gzIz	BE-MIQUI	MSM-jauN	SBC-volc2
AGR-jau	BE-Ocampo	MSM-jauW	SBC-xico
AGR-mante	BE-stam	MSM-Llera	SBE-casas
AGR-xico	BE-Vic	MZQ-casas	SBE-Llera
AGTA-altamira	BMM-cieloN	MZQ-jauE	SBE-xicoC
AGTA-amor	BMM-cieloS	MZQ-jauW	SMSC-1
AGTA-encino	BPE-cieloN	MZQ-llera	SMSC-3
AGTA-GzIzE	BPE-cieloS	PLM-GF	SMSC-cielo
AGTA-Llera	BPE-JAU	PLM-ocampo	TULAR-altamira
AGTA-mante	BPE-MIQUI	PZC-altam	TULAR-tampico
AGT-palmillas	BPE-palmillas	PZC-Llera	Urbano-GZLZ
AGTP-Gfar	BPE-stam	PZI-desnudo-altamira	Urbano-Mante
AGTP-Llera	BP-MIQUI	PZI-jauC/suelo	Urbano-Tampico
AGUAm-d-caballero	BP-miquiS	PZI-MIQUI	Urbano-Xico
AGUAm-d-chairel	BP-palmillas	PZI-sm	
AGUAm-d-conejo	BT-bustamante	Quemada	ESPECÍFICOS:
AGUA-prf-epg	BT-miqui	SAMS-GF	Nube-Miqui
AGUAprf-golfo	Inundable	SAMS-ocampo	Trazo-ince
AGUAsom-altamira	MANGLAR-tampico	SBC/SAMS-stamC	Bruma-Amor
AGUAsom-caballero	MDR-bustamante	SBC-amor	Sombra-cuch
AGUAsom-salada	MDR-JAU	SBC-ocampo	
AGUAsom-ver	MSM-casas	SBC-stamS	

Cada imagen clasificada se sometió al proceso de agrupación por vecindad de píxeles, usando un formato de 8 bits y agrupando por mayoría dentro de un vecindario de 3x3. Posteriormente, se proyectaron a **UTM** (Zona 14, NAD 27) y exportaron al formato *grid* para ArcView 3.2, con el objeto de facilitar las búsquedas booleanas y otras operaciones.

III.4.1.2. Generación de un Índice de Verde para discriminar coberturas del suelo en épocas de humedad y de sequía.

Las imágenes se agruparon en dos tipos, según el nivel de “sequía óptica” del terreno: temporada “seca” y temporada “verde”. No corresponde a un indicador de sequía, ya que sólo se evaluaron valores de reflectancia, pues para la finalidad de este proceso es suficiente con una discriminación por características ópticas de las imágenes. A este proceso se le dio el nombre de “Índice de Verde”, y da a cada imagen cinco niveles, que van desde lo menos verde y húmedo (suelo desnudo y urbano) hasta las masas forestales más densas (bosques) y el agua y humedales, con el máximo verdor/sequía.

Usando la extensión de *Image Analysis* para ArcView 3.2, se clasifica cada imagen con el módulo *Categorize*, fraccionando en cinco clases y usando como máscara la cuenca. La imagen resultante (Figura III.4.1.2-1) se convierte a .shp, se proyecta a UTM y se restan los polígonos externos (formados por el área de despliegue de la imagen) para calcular la superficie. Se hace un *dissolve* sumando el campo Has para obtener la superficie por cada clase. A continuación se describen las características de cada clase, en orden de humedad de mayor a menor.



Clase 1 (Azul). Es la más “oscura”, ya que agrupa los colores más “fríos” del espectro de la imagen: de azul a violeta. Agrupa las zonas más húmedas, representadas por la coloración azul de los cuerpos de agua, el verde oscuro de la vegetación húmeda y/o con alta producción de clorofila, que puede confundirse con sombras. Esta clase incluye también la zona del espectro rojizo/morado, que denota una respuesta espectral muy cercana de las áreas afectadas por incendios, ya que reflejan ese color en la combinación de bandas 7-2-1, debido al contenido de carbón que permanece en el suelo tras un incendio (NASA/GSFC, *Rapid Response*).

Otra inconsistencia (que tampoco afecta para la división seco/verde) fue el hecho de que la imagen 2010156 se categorizó con siete clases, para que los cuerpos de agua entraran en la clase azul, y no en la verde como sucedió al usar cinco clases.

Por lo tanto, para elaborar el índice de verde, esta clase no se tomó en cuenta porque las zonas quemadas no deberían tener el mayor valor de humedad. Debería incluir sólo las zonas húmedas (agua y vegetación), e incluso diferenciar entre ellas, ya que esta es la vegetación más vigorosa, y por tanto con más producción de clorofila.

Clase 2 (Verde). Los píxeles agrupados en esta clase pertenecen a zonas con vegetación verde con menos vigor que la anterior y que no se ha humedecido; se trata casi siempre de masas boscosas, así como cultivos permanentes y en cualquier régimen que se encuentren en fase pre-cosecha.

Clase 3 (Marrón). Se observa vegetación poco densa, como matorrales, masas arbustivas, vegetación oportunista, así como cultivos de riego o temporal en fases medias de crecimiento.

Clase 4 (Gris). Agrupa los terrenos que el sensor alcanza a detectar con vegetación: sitios con vegetación escasa, poco densa o masas arboladas secas (como matorrales y selvas caducifolias), así como pastizales, matorrales desérticos o cultivos en fases iniciales de crecimiento.

Clase 5 (Blanco). Son píxeles que el sensor detecta como carentes de vegetación, y que representan el suelo desnudo y las manchas urbanas.

Se calculó el porcentaje de superficie de cada categoría para cada imagen, y posteriormente se buscó la relación entre categorías. Como se mencionó, la clase de mayor humedad no se tomó en cuenta, por lo que tampoco se consideró la contraria (suelos sin vegetación aparente). La relación entre categorías se calculó entonces con la siguiente evacuación:

$$\text{Índice de Verde} = \frac{\% \text{ superficie de la clase Verde}}{\% \text{ superficie clase Marrón} + \% \text{ superficie clase Gris}}$$

Las imágenes con un índice de verde mayor o igual a 0.5 son consideradas como “verdes” y un índice menor indica imágenes “secas”.

III.4.1.3. Elaboración del mapa de Fracción nubosa

Algunos tipos de vegetación como el Bosque húmedo de montaña (BMM) dependen, no sólo del régimen pluvial, sino además de la humedad atmosférica; ésta puede provenir de una presencia significativa de nubes y niebla (Villaseñor, 2010). La UAT (2001) generó algunos indicadores de este tipo basándose en los reportes de las estaciones climáticas, dados por el número de días con nublado cerrado, medio nublados o despejados al año; no obstante, los indicadores disponibles tienen la desventaja primera de que, a pesar de un largo periodo de análisis (de hasta 50 años), la información fue procesada hasta 1999; por otra parte, se contaron con pocas estaciones para hacer la interpolación, por lo que no resultaba funcional para el área de trabajo, ya que se divide por unas cuantas isolíneas.

Por su parte, la Web de Observaciones Terrestres de la NASA (NEO, <http://neo.sci.gsfc.nasa.gov>) pone a disposición del público diferentes mapas globales de las condiciones atmosféricas, oceánicas, de la superficie terrestre, así como varios procesos biogeoquímicos; algunos cuentan con mediciones desde los años 90, aunque la mayoría son más recientes. Su resolución espacial es de 1° (≈11 Km) y temporalmente presentan condensados de información mensual. De esta Web se obtuvieron los indicadores para el periodo de anolís, en cuanto a presencia de nubes, precipitaciones acumuladas mensuales e índices de área foliar. El primero de ellos se describe a continuación, y los otros en los apartados siguientes.

Como indicador para presencia de nubes en la Cuenca, se utilizaron los valores de la Fracción Nubosa (*Cloud Fraction*) mensual. Esta se define como el promedio mensual de la porción de un píxel cubierta de nubes, y toma valores que van de 0 a 1. En la imagen global disponible para descarga (en formato *Geotiff*, Figura III.4.1.3-1), este rango se distribuye en colores de azul (sin nubes) a blanco (totalmente nublado), divididos en 250 valores. Por lo tanto, los valores de 0 a 1 se distribuyeron en los 250 valores y se convirtieron a porcentaje para este trabajo.

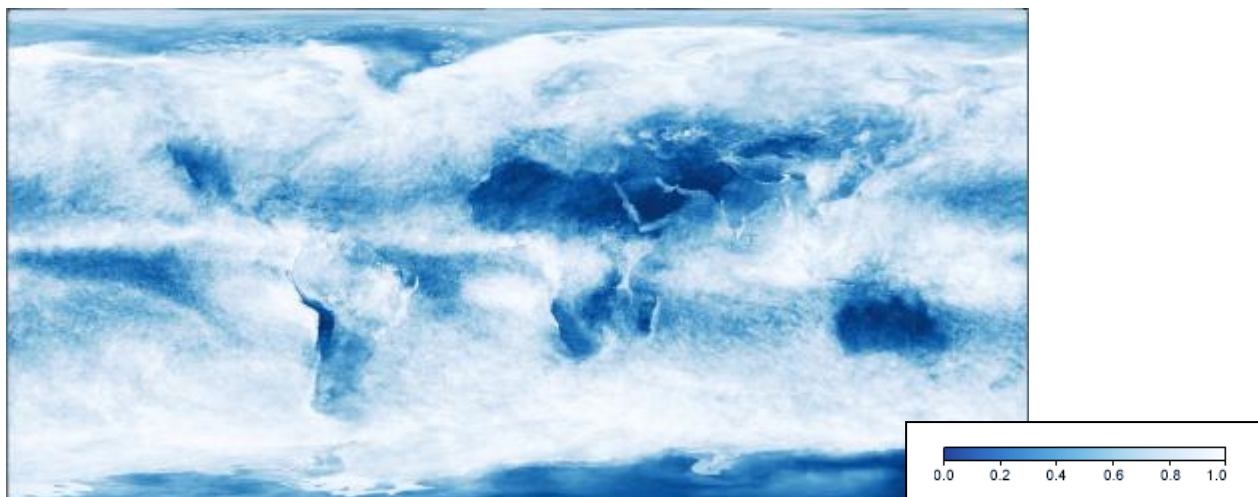


Figura III.4.1.3-1. Imagen de Fracción Nubosa global promedio mensual (Octubre de 2009), como se colecta de la Web de Observaciones Terrestres de la NASA, NEO. En el inserto, los valores que toma el indicador, de 0 a 1.

Las imágenes se seleccionaron aleatoriamente para 19 meses del periodo comprendido entre enero de 2006 y octubre de 2011. Los meses de evaluación fueron: febrero, agosto y noviembre de 2006; febrero, mayo y diciembre de 2007; abril y septiembre de 2008; febrero, mayo, agosto, octubre y noviembre de 2009; febrero, junio y noviembre de 2010; y marzo, julio y octubre de 2011. De cada imagen se obtuvo el *Subset* para el AOI de Tamaulipas, aplicándosele una clasificación no supervisada para obtener 10 rangos, y posteriormente proyectándose el área de despliegue a **UTM** y convirtiéndose a *grid*.

A continuación se sumaron y promediaron los 19 *grid*, para obtener el indicador. Como proceso final se “suavizó” el *grid*, clasificándolo en 30 clases y adaptando la cuadrícula a límites ecogeográficos cercanos al extremo de cada celda del *grid*, principalmente el modelo digital de elevación, la dirección de la pendiente o los límites edafológicos. Estos nuevos límites fueron digitalizados manualmente en formato shp, que después se convirtió a *grid*, tal como se muestra en la Figura III.4.1.3-2.

III.4.1.4. Elaboración del mapa de Pluviosidad total acumulada promedio mensual (PTAM)

La NASA, en conjunto con la Agencia Espacial Japonesa, lanzaron el satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*, Misión para la Medición de Precipitación Pluvial Tropical). Este dispositivo permite que se colecten diversos tipos de datos asociados con la interacción de la precipitación pluvial y aspectos varios del sistema climático global de las regiones no polares del planeta (<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>). Específicamente, los mapas globales de pluviosidad mensual disponibles en la web del NEO provienen del instrumento llamado “Radar de Precipitación” a bordo del TRMM (NEO, <http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/>). Cada celda es de 2.9x2.8 Kilómetros, y en el mapa (Figura III.4.1.4-1) contiene un valor de 0 a 2,000 mm, representados en este caso por niveles de azul más intenso (mayor precipitación) hasta el blanco (escasa o nula precipitación).

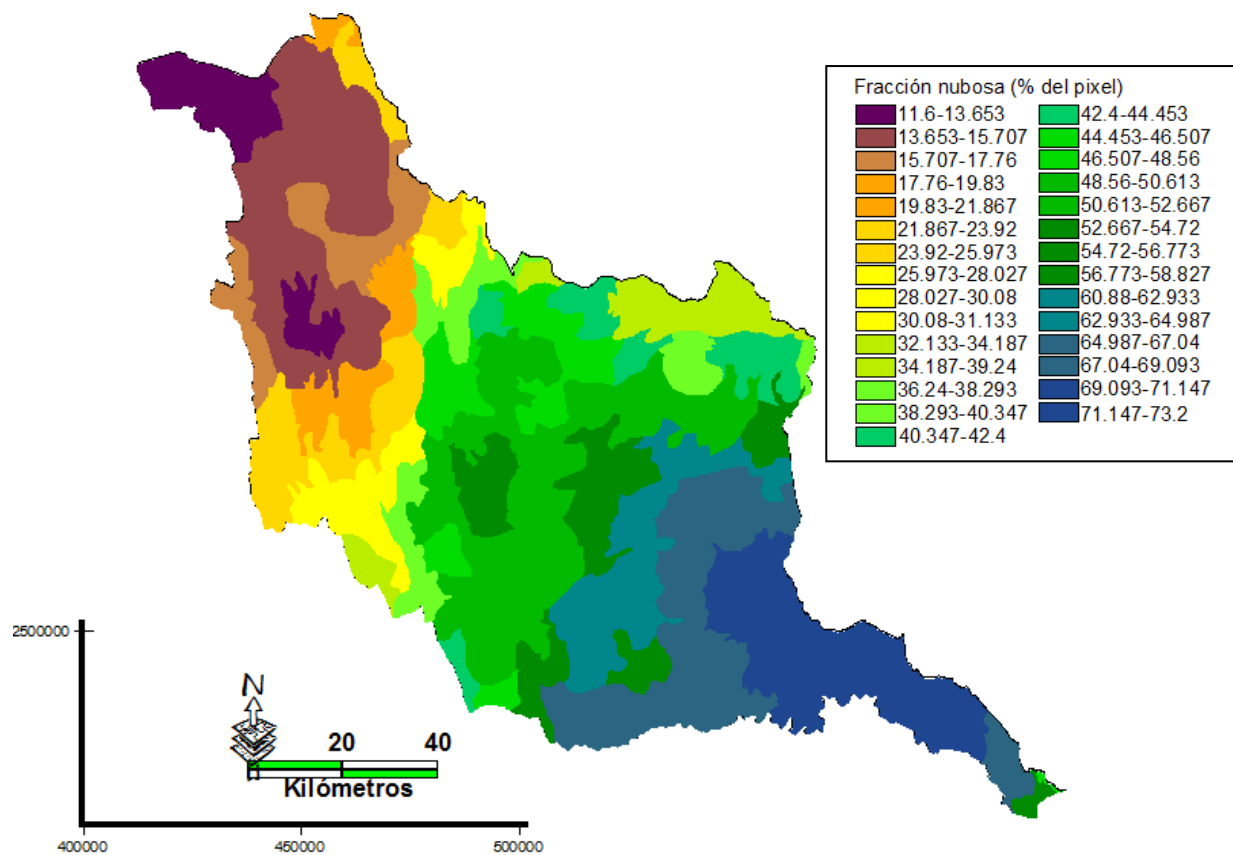


Figura III.4.1.4-2. Mapa de la Fracción Nubosa 2005-2011 en la cuenca. Fuente: elaboración propia con datos de NEO, <http://neo.sci.gsfc.nasa.gov>.

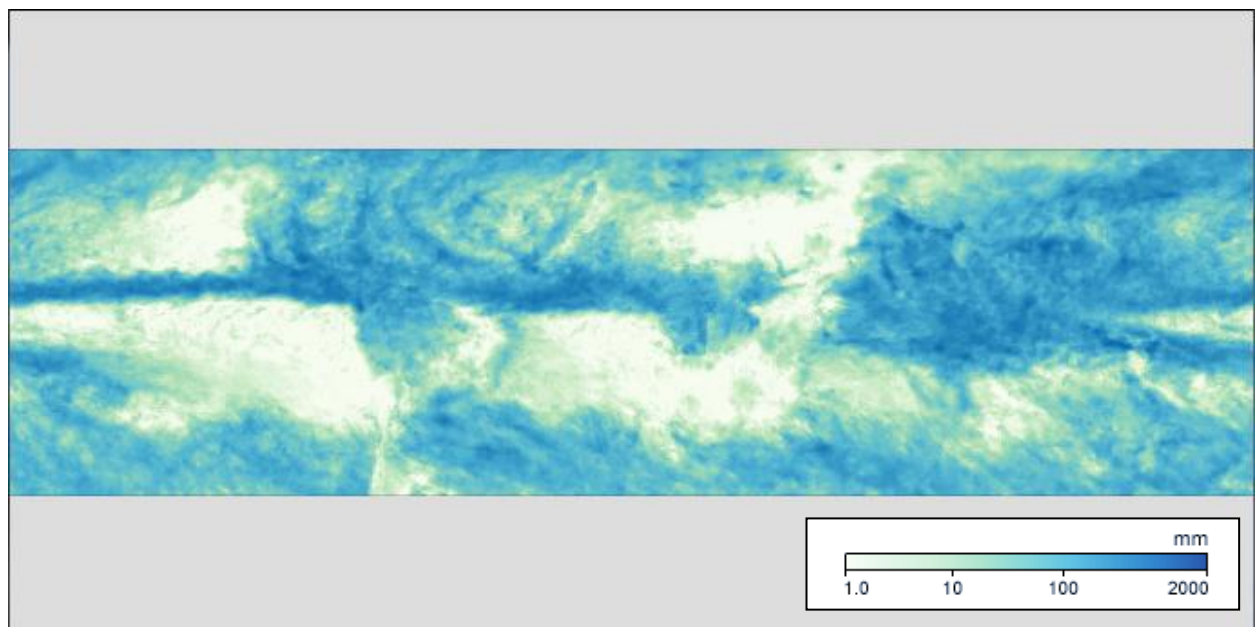


Figura III.4.1.4-2. Imagen de Pluviosidad total acumulada promedio anual (Septiembre de 2010), como se colecta de la Web de NEO. En gris, el área fuera de cobertura, y en el inserto los valores que toma el indicador, de 0 a 2000 mm.

Para este estudio, se colectaron 25 imágenes respectivas a dos meses anteriores a cada una de las imágenes **MODIS** clasificadas para el periodo de análisis, que debió truncarse a junio de 2011 por ser el mes más actual disponible en la NEO. Por lo tanto, los meses de análisis fueron: diciembre de 2005; febrero-abril de 2006; enero, febrero y

abril de 2007; mayo, octubre y noviembre de 2008; marzo y abril de 2009; marzo-mayo y septiembre-diciembre 2010; así como enero-julio de 2011.

A estas imágenes se le sometió a preprocesos similares a los de Fracción nubosa, en cuanto a obtener los *grid* necesarios para obtener el indicador final. Se obtuvo el *grid* de precipitación pluvial promedio mensual, que posteriormente fue clasificado en siete regiones (clases) y “suavizado” de forma análoga al de Fracción Nubosa (Figura III.4.1.4-3).

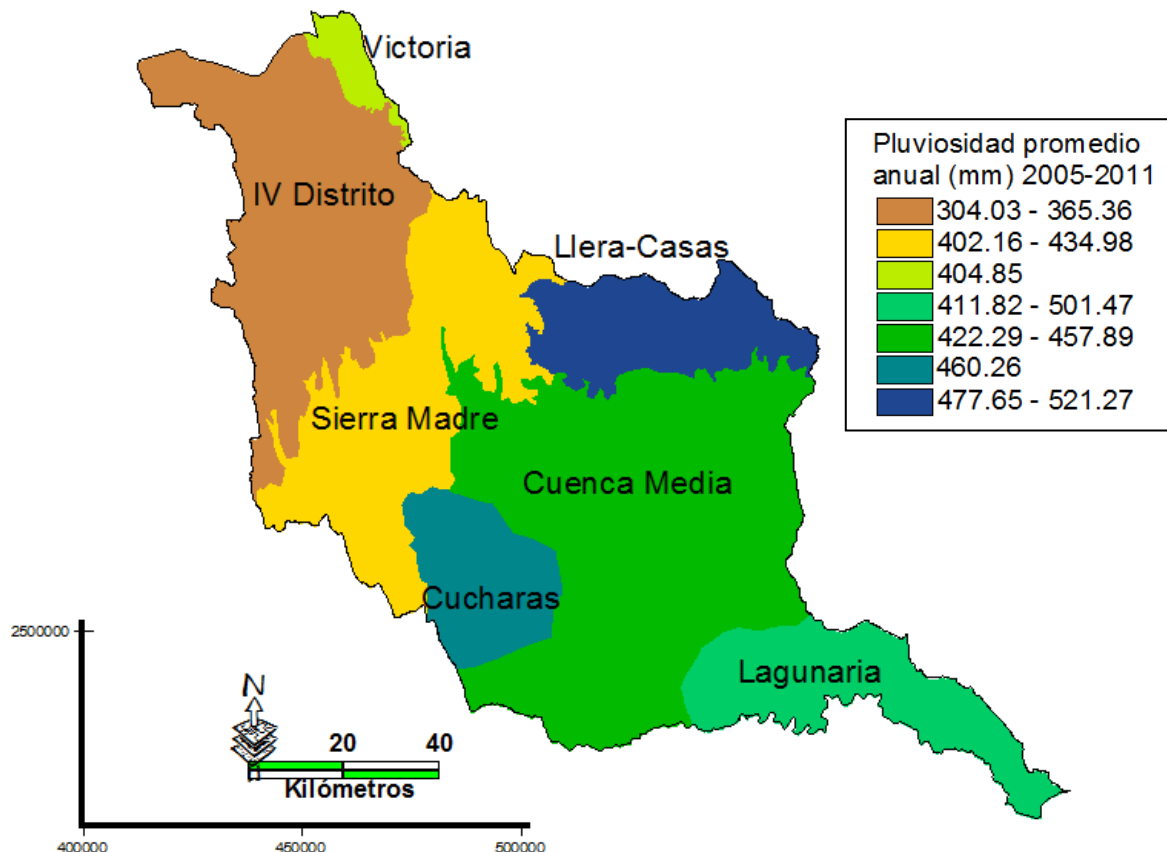


Figura III.4.1.4-3. Regiones de pluviosidad promedio anual 2005-2011 en la cuenca. Fuente: elaboración propia con datos de NEO, <http://neo.sci.gsfc.nasa.gov>.

III.4.1.5. Elaboración del mapa de Índice de Área Foliar (LAI)

El índice de área foliar (**LAI**, *Leaf Area Index*) expresa la superficie del terreno cubierta por las copas de los árboles con hojas, medido como la razón entre el área de un solo lado de las hojas y la del terreno. Es utilizado para estimar las cantidades de agua, carbono y energía que la vegetación intercambia con el aire y el ambiente que les rodea. Esta información se encuentra disponible a través del Producto MOD15 de los sensores **MODIS** de la NASA. Consiste de una retícula global derivada de productos de Tipo de Cobertura del Terreno (MOD12) y del de la Reflectancia Superficial (MOD09), que se procesan para comparar superficies reflectantes observadas y modeladas de un conjunto de estructuras de dosel y patrones de suelo que cubren un rango de condiciones naturales esperadas. Cada pixel (de 10x10 Km) de la retícula tendrá un valor de 0 a 7 m²/m², correspondiente al intervalo de la composición del Índice de Vegetación Modificado (Parkinson y Greenstone, 2000).

Aunque el índice puede expresarse matemáticamente sin unidades, la **NEO** explica que así se especifican los metros cuadrados del área foliar por metro cuadrado de superficie de terreno. Los valores mayores a 1 indican el número de capas de hojas que cubre un metro cuadrado de terreno, menos que 1 significa que no alcanza a cubrirse un metro de terreno por las hojas del mismo. En el mapa disponible al público (Figura III.4.1.5-1), estos valores se representan por colores que van del marrón claro (tan) para sitios con escasa cubierta foliar, verde claro para terrenos cubiertos por completo, a verde oscuro, con densos doseles forestales que pueden tener más de siete capas de hojas. El color negro oscuro son zonas sin datos (**NEO**).

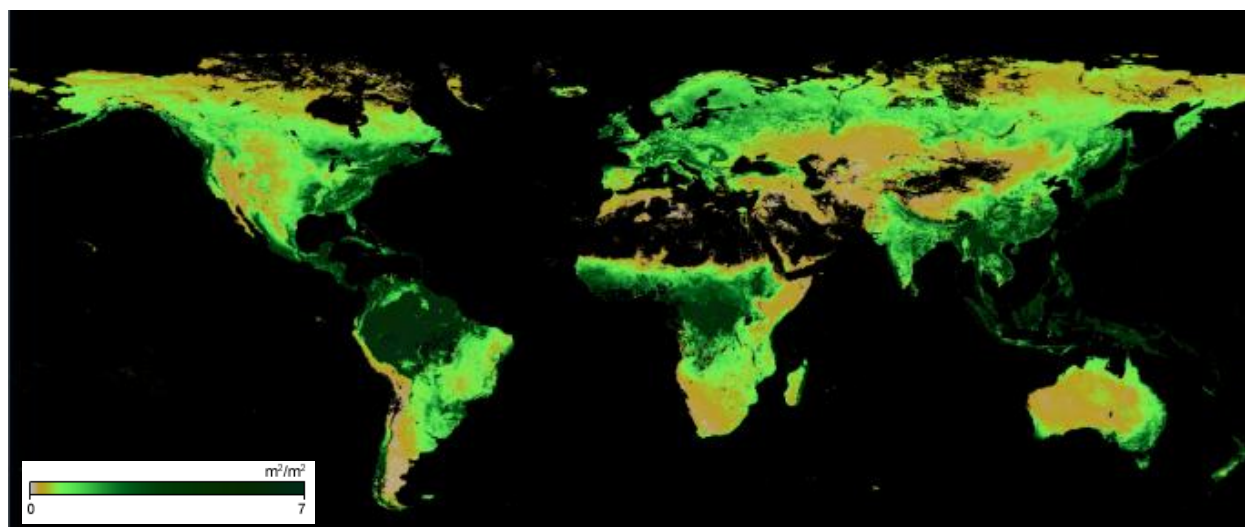


Figura III.4.1.5-1. Imagen del índice de área foliar (Septiembre de 2010), como se colecta de la **NEO**. En negro los valores “sin datos”, y en el inserto los valores que toma el indicador, de 0 a 7 m^2/m^2 .

Los meses de las imágenes colectadas fueron los mismos que para la **PTAM**, aplicando procesos similares para el *grid* de trabajo. En este caso, los valores del *grid* para **LAI** se obtuvieron en forma análoga que para la Fracción Nubosa; es decir, dividiendo el rango de valores entre 255, pero en este caso multiplicando por 10 para hacer más manejables los valores inferiores a 1. Finalmente, se “suavizó” el mapa reticular restante con los criterios ya señalados, para obtener el *grid* que se muestra en la Figura III.4.1.5-2.

III.4.1.6. Obtención de las coberturas de vegetación y uso del suelo

Una vez clasificadas las imágenes, se realiza una búsqueda booleana para obtener los píxeles que se presentan como cierta cobertura en el periodo de análisis, a través de operador de unión OR. Para la mayoría de las coberturas, se incluyó como primer “filtro” el rango de elevación propio de la misma, donde el pixel clasificado como la cobertura buscada se interseca con ese rango de altitud, a través del operador AND. Este es el mapa de probabilidad básico, sobre el que posteriormente se realiza otra búsqueda booleana para incluir los factores ecogeográficos que explican la distribución del tipo de cobertura analizada. Los factores ecogeográficos utilizados se muestran en el Cuadro III.4.1.6-1., mientras que las ecuaciones booleanas y sus claves se encuentran en el ANEXO DIGITAL 2.

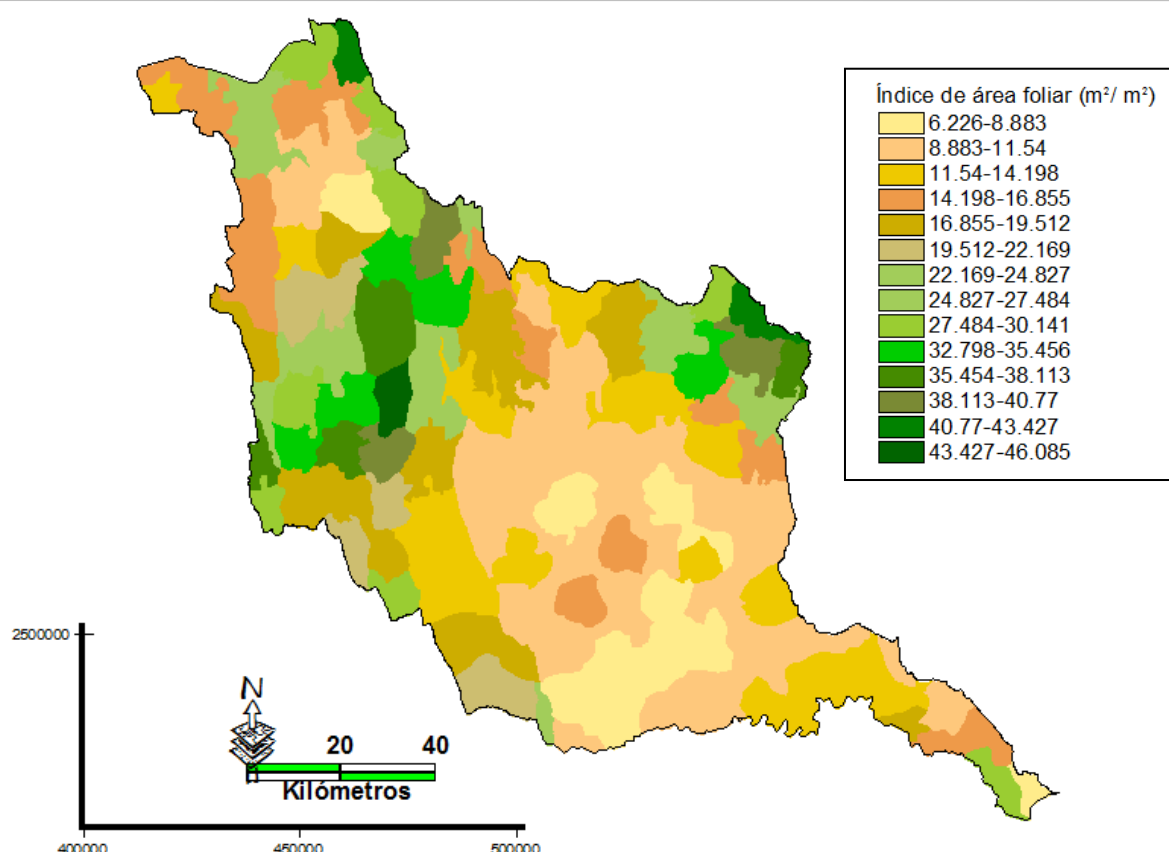


Figura III.4.1.5-2. Mapa del LAI (m^2) 2005-2011 en la cuenca. Fuente: elaboración propia, datos de NEO, <http://neo.sci.gsfc.nasa.gov>.

Cuadro III.4.1.6-1. Mapas digitales usados como factores ecogeográficos en la evaluación.

Factor	Fuente
Modelo digital de elevación (MDE), <i>grid</i>	INEGI, sin fecha (Cortesía de Cantú, 2005)
Mapa de pendientes, <i>grid</i>	Elaboración propia, derivado del MDE
Dirección de la pendiente, <i>grid</i>	Elaboración propia, derivado del MDE
Temperatura media (.shp)	UAT (2001)
Temperatura mínima (.shp)	UAT (2001)
Heladas promedio anual (.shp)	UAT (2001)
Precipitación promedio anual (.shp)	UAT (2001)
Pluviosidad total acumulada promedio mensual (PTAM), <i>grid</i>	Elaboración propia con datos de NEO ¹
Fracción nubosa, <i>grid</i>	Elaboración propia con datos de NEO ¹
Área foliar promedio (LAI), <i>grid</i>	Elaboración propia con datos de NEO ¹
Litología (.shp)	SGM, 2001
Edafología (.shp)	INEGI, 2000
Fisiografía: sistema de topoformas (.shp)	INEGI, sin fecha (Cortesía de UAT, 2001)
Cuerpos de agua (.shp)	INEGI, sin fecha (Cortesía de UAT, 2001)
Cuerpos de agua de la ZCTMA ² (.shp)	Elaboración propia sobre el visualizador GE ³
Manchas urbanas (.shp)	INEGI, sin fecha (Cortesía de UAT, 2001); actualizado por Requena, 2008.
Manchas urbanas de la ZCTMA ² (.shp)	Elaboración propia sobre el visualizador GE ³
Vegetación y uso del suelo Serie III (.shp)	INEGI, 2005
Agricultura de temporal con cultivo permanente (.shp)	Elaboración propia sobre el visualizador GE ³

Notas: 1. Observaciones de la Tierra de NASA (<http://neo.sci.gsfc.nasa.gov>); 2. Zona conurbada Tampico, Ciudad Madero, Altamira; 3. Google Earth™

Los rangos de valor de cada factor ecogeográfico a usarse en la búsqueda booleana de cada tipo de vegetación y uso del suelo, se obtuvieron tanto de referencias literarias (Miranda y Hernández, 1963; Puig, 1991; INEGI, 2009a; Rzedowski, 1978; CONABIO, 2010; Villaseñor, 2010), como de la extracción del valor del *grid* dentro del polígono

apropiado de la Serie III de INEGI y/o de Requena (2008), y que se haya corroborado en campo; o bien, por análisis visual de las coberturas más diferenciadas en el Google Earth™ (por ejemplo, un bosque contiguo a un pastizal).

Para solucionar las confusiones persistentes en algunas coberturas, se dividieron las imágenes en “verdes” y secas, a través del “índice de verde”.

Cada cobertura de vegetación o uso del suelo se evalúa individualmente, y al obtenerse cada mapa preliminar, se excluye de la siguiente cobertura a evaluar. Para una mayor facilidad de manejo, se va construyendo un *grid* al que se le van integrando cada cobertura, y que se utiliza como máscara en la evaluación siguiente.

Es necesario señalar que el área de trabajo de los mapas digitales originales era menor (en la porción norte y algo menos en la sur) que la usada para la evaluación, por lo que este efecto se corrigió anexando los píxeles necesarios encontrados en la superficie faltante, para cada cobertura afectada. A este subproceso se le denominó “anexar”.

Una vez encontradas todas las coberturas preliminares, se observó que algunas generaron errores al momento de su integración del *grid*, o por diferencias en la estimación de los factores (principalmente el MDE). Estos errores se presentaron ya sea en forma de “huecos” (GAP) o solapamientos al integrar todas las coberturas evaluadas. Para corregir estos errores, se reajusta cada *grid* afectado, por medio de análisis de cada GAP o solape y cotejándose con lo observado en Google Earth™.

El proceso finaliza con el cálculo de las superficies por tipo de cobertura, de acuerdo al número de píxeles respectivos clasificados en el *grid*.

A continuación, se describe la construcción de cada cobertura, en el orden de su integración al *grid* final.

1. Cuerpos de Agua (AGUA)

Se obtienen los píxeles que en todas las imágenes se clasifican como agua, a través del operador AND entre imágenes; estos representan los cuerpos de agua perennes (al menos para el tiempo de evaluación). Por otra parte, los píxeles que se clasifican como agua en cualquier parte de las imágenes, tienen probabilidad de ser cuerpos de agua Intermitentes.

Los cuerpos de agua se obtuvieron a de los píxeles clasificados como agua perenne o intermitente, manglar, zonas inundables o tulares (píxel AMAIT), que aparezcan como tal tanto en imágenes secas como húmedas que además se ubiquen en pendiente ≤ 3 (no cero, para excluir errores del MDE). Este *grid* se extrae con el polígono actualizado de los cuerpos de agua del INF (UNAM, 2000). Posteriormente, se sustraen los píxeles confundidos con agua, y que aparecen en el polígono del INF cerca de la localidad de Tantoyuquita, agregándose estos a vegetación de galería.

Durante la revisión visual sobre la aplicación Google Earth™ de huecos del *grid* preliminar total, se observaron pequeños cuerpos de agua que no fueron clasificados a través de las imágenes, y viceversa, ya que por su naturaleza intermitente en la fecha de colecta de la imagen spot de la aplicación aparece diferente que en el periodo de análisis. Estos aparecieron especialmente en la zona lagunar adyacente al área metropolitana de Tampico, por lo que se digitalizaron los cuerpos de agua embebidos dentro de la misma, para unirse a las otras coberturas ya obtenidas de cuerpo de agua.

2. Humedales, INU

Las zonas inundables (INU) se representan con los píxeles MAIT (diferente de las coberturas de agua) ubicados fuera del polígono actualizado de los cuerpos de agua del INF (UNAM, 2000); se reclasifica y se le agregan los píxeles de áreas inundables con presencia de espejo de agua, y que no son otro tipo de cobertura.

Las zonas con tular son aquellas que clasificadas como TUL en cualquier sitio de las imágenes que se ubique a menos de 300 msnm y con una pendiente menor a 3. Se le agregan los píxeles de tular provenientes de la corrección de GAP y finalmente se restan las sobreposiciones con otras coberturas como manglar, áreas quemadas, urbanas y los cuerpos de agua de la ZCTMA.

De forma similar se obtienen los manglares (MAN), escasos en la zona de estudio, y que son representados por píxeles clasificados como tal, en una pendiente menor de 3 y altitud no mayor de 20 msnm. Se eliminan las sobreposiciones con matorrales y mancha urbana, agregándose también los píxeles del análisis de huecos.

3. Zonas urbanas (URBA), y suelo desnudo (DESN)

Las poblaciones urbanas (URBA) se obtuvieron de los píxeles clasificados como urbano o suelo desnudo y que se encuentran dentro de los polígonos actualizados de esta clase en el INF (UNAM, 2000). A estos se le agregaron las manchas urbanas de la ZCTMA y se le restaron las sobreposiciones con tular y manglar.

Dentro de la zona de estudio se observaron sitios en los que el suelo no aparentemente presentaba cobertura vegetal (Suelo desnudo) independientemente de las condiciones de humedad. Estas áreas desprovistas de vegetación (DESN) se obtuvieron de los píxeles clasificados siempre como tal en todas las imágenes (a través del operador AND), unidos a los de la última imagen evaluada. Se les restan las sobreposiciones con las coberturas ya analizadas.

Se le restan los que forman parte de la máscara integrada por las coberturas ya evaluadas

4. Áreas quemadas (QUE)

Son los sitios que han sido afectados por incendios, y que pueden ser identificadas como tal porque aún presentan restos de carbón y ceniza que son captados por el sensor

al momento de su captura. Para esta evaluación, se obtienen de los píxeles que se clasificaron así (QUE) en la última imagen disponible.

Puede confundirse con sitios inundados en las proximidades de los cuerpos de agua, cuando presentan alto contenido de materia orgánica disuelta, que en la cuenca se originan generalmente de plantas oportunistas que crecieron estando expuesto el suelo del vaso. Para diferenciar ambas coberturas, se eligieron sitios de entrenamiento en las áreas próximas a las lagunas, donde el espejo de agua es significativamente somero. Los píxeles obtenidos se agregaron a los de otros sitios inundables (INU).

Otra confusión de importancia en el análisis se presentó con suelos de Regosol Calcárico (al poniente del valle de Jaumave, norte del de Palmillas y norte de Magiscatzin), Rendzinas (al sur de los valles de Palmillas y de Ávila y Urbina, así como la bajada sur de la Sierra de Tamaulipas) y Vertisol Pélico en la zona temporalera de Altamira. Tanto en Rendzinas como Regosoles esta anomalía se presentó siempre con orientación noreste-este-sureste. El Cuadro III.4.1.6-2 muestra las zonas de confusión y la vegetación asociada.

Cuadro III.4.1.6-2. Sitios de confusión de zona quemada con suelos, su tipo de vegetación asociada y el mes del año en que se presentó la anomalía de cada suelo. En resalte los que pueden influenciar en el mapa final.

Zona	Veg-asociada	Feb	Mzo	Abr	May	Jun	Sep	Oct	Nov	Dic
Aldama	SBCvs		E	E		E				
Altamira	SBCvs, AGTA		Vp	Vp	Vp					Vp
Ávila	MSM, MDR									Rc
Jaumave	MZQvs	E		E				E		
Magiscatzin	AGTA, AGTApzi, SBEhzhch		Rc	Rc		Rc		Rc		
Palmillas	MSM+E; AGTA+Rc	E, Rc		E, Rc	E	Rc		E, Rc	Rc	

E= Rendzina; Rc = Regosol Calcárico; Vp = Vertisol Pélico. AGTA=agricultura de temporal, cultivos anuales; MDR= matorral desértico rosetófilo; MSM= matorral submontano; MZQ= Mezquite; SBC= Selva baja caducifolia y subcaducifolia; SBEhzhch= selva baja espinosa (incluye huizachal); PZI= pastizal inducido; vs= vegetación secundaria

Como esta cobertura se generó a partir de la última imagen, los sitios que pudieron afectarse por esta discrepancia fueron Jaumave, Magiscatzin y Palmillas. Para intentar resolver esta inconsistencia, se adaptó el método que utilizaron [Cruz López et al. \(2011\)](#) para detección temprana de incendios en México. Estos autores determinan que un píxel es un sitio de incendio cuando su **NDVI** es menor que 0.4 y su índice normalizado de incendio (*Normalized Burn Ratio*, **NBR**) es de -0.13 a -0.3. En este trabajo, se supuso que los píxeles clasificados como zonas quemadas a través de la imagen analizada cumplieran con el rango de **NBR**, por lo que, a través de búsqueda booleana, se encontraron los sitios donde coincidían con un **NDVI** menor que 0.6, elevando dos décimas el valor propuesto por los mencionados autores para ajustar la evaluación a las condiciones de humedad y estado fenológico particular del área de estudio en la fecha de análisis.

Por motivos prácticos de manejo, se integra el primer *grid* "máscara" con las coberturas evaluadas hasta el momento (*MASK4*), y que se aplica desde la siguiente evaluación en adelante.

COBERTURAS CORRESPONDIENTES A VEGETACIÓN NATURAL

5. Bosque de Táscate (*Juniperus* spp., **BT**)

Este bosque se restringe a sitios con pendiente mayor de 3 y altitudes comprendidas entre los 1400 y 1850 msnm. Se buscaron los píxeles clasificados como BT, fuera de la Mask4 y cumplieran con estas características, así como con los siguientes factores ecogeográficos limitantes: Píxeles ubicados en la Sierra plegada con bajadas, con un promedio de heladas anuales de 7.3 a 9.1, y sobre rocas de Conglomerado, Conglomerado de formación Reynosa, Lutitas de varias formaciones o de suelos Aluviales.

6. Bosque de Pino (**BP**)

Los píxeles clasificados como BP, con altitud mayor o igual a 1850 msnm, fuera de la Mask4 y del BT, ubicados sobre rocas Calizas y Lutitas del Mesozoico Cretácico Superior, suelos Litosoles, con rangos de temperatura media de 18 a 21.91°C y mínimas de 7 a 13°C.

Para la zona de El Cielo, se incluyeron los píxeles de BP en altitudes mayores a 1400 msnm, en bajadas con lomerío o en sierra plegada con bajadas; sobre rocas Calizas y Lutitas de formación Taraises, Conglomerado, Conglomerado de formación Reynosa, o Lutitas de varias formaciones; más de 3.6 heladas anuales y rangos de temperaturas medias de 21.9 a 23.8°C y oscilación térmica de 13 a 18°C. Finalmente, se utilizó el proceso “anexar” para completar esta cobertura.

7. Bosque húmedo de Montaña (Mesófilo de Montaña), **BMM**

La distribución del bosque húmedo de montaña (Observando la sugerencia de nomenclatura de Villaseñor, 2010) se generó discriminando las imágenes por sus condiciones de humedad (dentro de un rango de altitud de 900 a 1850 msnm y una pendiente menor a 45), y luego con los factores ecogeográficos adecuados a cada una de ellas, tanto para la Sierra Madre (Sierra Alta en fisiografía) como para la Sierra de Tamaulipas (Sierra Compleja), donde el estudio de Hernández (2006) sugiere una distribución probable de este tipo de vegetación, y con corroboración en campo de especies restringidas a este bosque.

Se incluyó como factor ecogeográfico la dirección de la pendiente, de Noreste hasta el Sur, que corresponde a la del lado del Golfo de México, donde se favorece la incidencia de vientos húmedos, condensación de nubes y formación de neblinas (CONABIO, 2010; Villaseñor, 2010). Otros factores ecogeográficos buscados en general fueron: oscilación térmica de 10 a 15°C con un rango de temperatura promedio de 16 a 23.8°C; rocas Dioritas o Calizas y Lutitas de Formación Taraises, con suelos Litosoles (con textura media; y con asociación de Rendzina y de Regosol Calcárico o de Feozem Háptico y de Rendzina).

La fracción nubosa se aplicó diferente de acuerdo con el índice verde: de 17.7 a 28.02 para condiciones secas y mayor a 28.02 para condiciones húmedas. Finalmente, se

integran ambas coberturas, excluyendo posibles sobreposiciones con BP, para obtener la distribución de este bosque.

8. Selva alta y mediana subperennifolia (SAMS)

Para encontrar la distribución de esta selva, se buscó su presencia (que no se confunda con Mask 4 o las coberturas ya evaluadas) sólo en las imágenes secas de acuerdo con el índice verde, pues se discrimina mejor de otras coberturas, debido a que en esta época las de carácter caducifolio pierden sus hojas. Durante el análisis visual de estas imágenes, fue evidente la presencia de verdor en sitios clasificados por el INF (UNAM, 2000) y por INEGI (2005) como Selva Baja Caducifolia, especialmente en el sur de la Sierra de Tamaulipas y en las porciones de mayor altitud de la Sierra del Abra (Figura III.4.1.6-1). Debido a esto, se incluyó en la búsqueda la Sierra de Tamaulipas (Sierra Alta), la Sierra de Cucharas-El Abra (Sierra plegada con mesetas), además de la Sierra Compleja que forma el macizo de la Sierra Madre, donde los mencionados autores ubican este tipo de selva.

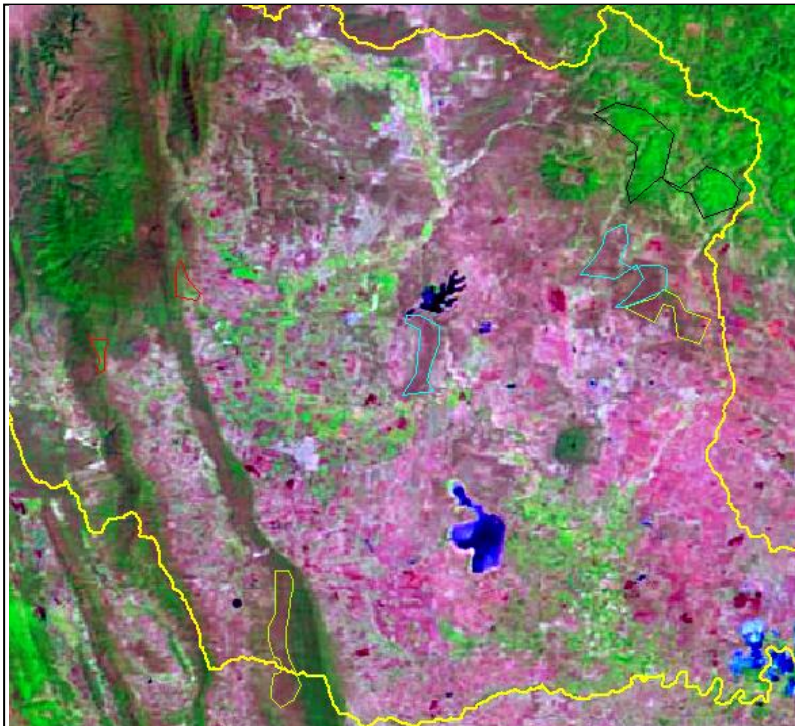


Figura III.4.1.6-1. Las mayores condiciones de sequía se presentan en esta imagen de mayo de 2011. Pueden observarse con bordes azul y amarillo polígonos correspondientes a SBC. En bordes rojos los señalados como selvas medianas y altas subcaducifolias y perennifolias por el INEGI (2005), y en bordes negros áreas que permanecen vegetadas durante todo el tiempo de análisis.

Los factores ecogeográficos para la porción de la Sierra Madre evaluados fueron, además de los mencionados, suelos Litosoles (con textura media; y con asociación de Rendzina y de Regosol Calcárico o de Feozem Háptico y de Rendzina) o Regosoles Calcáricos con textura fina y asociados con Feozem Calcárico y Vertisol Pélico, así como rangos de precipitación promedio acumulada de 402 a 458 mm y de fracción nubosa entre 26.2 a 59. La orientación de la pendiente en estos sitios va del NE hasta el S.

Para la Sierra de Tamaulipas se buscaron sitios con rocas Calizas y Lutitas, ya sea de Formación Taraises o Agua Nueva y San Felipe; estos debían ubicarse además en rangos de precipitación de 422 a 522, de fracción nubosa entre 38.3 y 57, así como presentar un LAI de 24.8 a 40.7

9. Palmares (**PALM**)

Esta cobertura se confunde mayoritariamente con SAMSP, SBC y SMSC, por lo que en una primera etapa se buscan los píxeles con altitud máxima de 365 msnm, que no se superpongan con las coberturas anteriores y con posibilidad de ser palmar o cualquiera de esas selvas; se busca la intersección de estos tres *grids*, lo que resulta en el *grid* básico que se someterá al análisis ecogeográficos siguientes.

Rasgos fisiográficos de bajada con lomerío, llanura aluvial, sierra plegada con mesetas o valle intermontano; con suelos todos de textura fina, como son: Rendzina asociada con Litosol y con Regosol Calcárico; Regosol Calcárico en asociación con Feozem Calcárico y Vertisol Pélico, o bien con Litosol y Feozem Calcárico; o Vertisol Pélico; así como un rango de fracción nubosa de 28-53.2.

En la revisión final, se incluyeron los píxeles clasificados con la cobertura que confunde Palmar y SMSC, adyacentes al río Tamesí y su sistema lagunar y en la sierra de La Palma (Altamira), debido a que algunos los clasifica como manglar y otros no alcanzan clasificación en otras categorías; además, en la revisión visual se notan elementos de selvas y palmeras.

Para ello, se busca sobre esta cobertura por una parte los píxeles que coincidan en una edafología de Cambisol Gléyico con las coberturas de palmar con SBC o SAMS, diferentes de Manglar o Tular; y por otra parte los que coincidan en la llanura aluvial con piso rocoso o cementado, coberturas de palmar con SAMS, SBC O SMSC, y que no se superpongan con ninguna cobertura natural o agropecuaria evaluada.

10. Selva mediana subcaducifolia y subperennifolia (**SMSC**)

Esta es una de las coberturas que, por sus características de caducidad es la que más suele confundirse con otras, por lo tanto es de las más complejas de integrar. La primera etapa fue obtener la distribución probable por separado en imágenes secas y húmedas, de acuerdo con el índice verde, discriminando al mismo tiempo con la altitud no mayor a 1200 msnm. En una segunda etapa, se enfocó la búsqueda por separado de rasgos fisiográficos asociados a la Sierra Madre y por otra parte a los asociados con la Sierra de Tamaulipas y el Cerro del Bernal (que, como se explicó para la SAMS, aparecen asociados a condiciones diferentes de verdor que la SBC inventariada por [INEGI, 2005](#)).

Para el conjunto de la Sierra Madre, se buscaron intersecciones entre: los rasgos fisiográficos Bajada con Lomerío, Lomerío Típico, Meseta Típica, Sierra Compleja, Sierra Plegada con Bajadas, Sierra Plegada con Mesetas o Valle Intermontano; suelos (con distintas asociaciones y texturas) Cambisol-Calcárico, Feozem-Calcárico, Litosol, Luvisol-Crómico, Regosol-Calcárico o Vertisol-Pélico; **PTAM** de 402 a 460.2 mm; fracción nubosa mayor de 21.8; y LAI de 11.5 a 40.7.

Después de la integración preliminar, se obtienen los píxeles confundidos con actividades agropecuarias, de los que se restan los que presentan más probabilidad de

confusión por su aspecto verde en época húmeda (AGR), y que son evidentes en el análisis visual de imágenes de muy alta resolución de Google Earth™.

Para la Sierra de Tamaulipas y el Cerro del Bernal, se utilizaron rasgos fisiográficos de Lomerío Típico, Sierra Alta o Sierra Baja; suelos de Litosol de textura media (asociados con Rendzina o con Feozem Háptico y Rendzina) o Regosol-Eútrico; el mismo rango de LAI que para la Sierra Madre, y de 422.3 a 521.3 de PTAM. Además, se restaron las coincidencias con SBC, AGTA y SBEhzch.

En la etapa final, se unieron las coberturas encontradas para las dos agrupaciones fisiográficas analizadas.

11. Selva baja espinosa en conjunto con huizachales densos (SBEhzch)

Este tipo de selva se confunde en la mayor parte de su territorio con mezquites, selva baja caducifolia (casi siempre en condiciones de sequía) y sitios abandonados con crecimiento de especies oportunistas, y que suelen formar huizachales densos, dependiendo del tiempo de abandono (Figura III.4.1.6-2).

Por tales motivos, el proceso de localización de esta cobertura se llevó a cabo en paralelo con el de SBC. En una primera etapa se buscaron los píxeles clasificados como SBEhzch en las imágenes, en una altitud menor de 300 msnm.

En la siguiente etapa, se buscaron los píxeles que coinciden con las posibles coberturas agropecuarias por separado, para luego encontrar las intersecciones entre estas coincidencias. Por otra parte, se eliminaron las intersecciones con SBC, con cualquier cobertura agropecuaria (por separado) o con mezquital.



Figura III.4.1.6-2. Imagen de muy alta resolución que muestra un manchón de huizachales densos con elementos de SBEhzch, al oriente del poblado El Abra, y dentro de la zona que UNAM (2000) clasifica como AGT. La porción izquierda de la imagen muestra cultivos en ese régimen, por lo que es necesario señalar que la fecha de colecta por el sistema de Google Earth™ es posterior al periodo de análisis. El inserto muestra la ubicación de los píxeles clasificados por el modelo (en rojo), respecto de los caminos aledaños y el poblado de El Abra (en gris).

Para finalizar esta cobertura se complementó mediante un proceso al que se le llamó “análisis de relictos”. Se consideraron relictos para SBEhzch, SBC, MZQ, sus coberturas secundarias y de Vegetación de Galería, a los manchones de vegetación captados como tal por las imágenes, que se extienden entre las zonas agropecuarias de la cuenca media,

pero que tanto la UNAM (2000) como INEGI (2005) inventarían como dichas actividades.

Para el caso de SBEhzch, el análisis de relictos consistió en agregar aquellos formados por pixeles de SBC (en condiciones de humedad y que se confunden con AGR) o de SBE confundidos ambos con huizachal, y ubicados entre 50 y 300 msnm; además, que al mismo tiempo pertenecieran a suelos Rendzina, Feozem-Calcárico, Feozem-Háplico, Litosol, Fluvisol-Calcárico, Regosol-Calcárico, Vertisol-Crómico o Vertisol-Pélico. Al no ser posible discriminar entre la selva y el huizachal a través de este análisis, se optó por dejar la cobertura conjunta, ya que por conocimiento del terreno, se ha comprobado la existencia de manchones de huizachales, mezclados con elementos de este tipo de selva (Figura III.4.1.6-3), como *P. dulce* (guamúchil), *Cordia broissieri* (anacahuita), *Prosopis* spp (mezquite); *Celtis pallida* (granjeno); así como cactus candelabriformes, nopales (*Opuntia* spp), y trepadores (*Acanthocereus tetragonus*), e incluso elementos de sitios más desérticos, como la *Yucca* spp.



Figura III.4.1.6-3. Aspectos de un relikto de Selva Baja Espinosa con bosque de huizache, cerca del ejido Narciso Mendoza (municipio de Xicoténcatl); se distinguen además algunos cactus, mezquites y anacahuítas (Fotos cortesía de Mireya Requena, 2012).

12. Selva baja caducifolia y subcaducifolia (SBC)

Este tipo de selva es la que mayores cambios espectrales sufre durante las estaciones climáticas, siendo además confundida con otras selvas como la mediana, la espinosa, en situación de sequía con el matorral submontano y en condiciones húmedas su vegetación secundaria llega a confundirse con algunos cultivos. Por estas razones, la búsqueda es compleja y debió llevarse en paralelo con las coberturas que confunde, y en varias etapas.

Se buscaron los pixeles clasificados como SBC en imágenes con condiciones secas o húmedas, de acuerdo con el índice verde, y que se ubicaran a 800 msnm o menos. Posteriormente, se obtuvo la intersección entre ambas coberturas. Este *grid* y el de condiciones secas se intersectan a su vez con los que tienen posibilidad de representar actividades agropecuarias, obteniéndose así los sitios de confusión.

La cobertura de SBC “seca” se obtiene restando los *grid* de confusión junto con la máscara integrada y la confusión con SBE, eliminando también los sitios que confunde en condiciones secas con AGR. Así se obtiene la cobertura de SBC “seca”.

El *grid* de SBC en condiciones de humedad se genera con la eliminación de los píxeles de confusión con AGR, AGTP (la que más confunde) y con SBE (que es Vegetación Secundaria de SBC), y los de SBC-seco. A este *grid* se le resta toda la cobertura con posibilidad agropecuaria, y después se une al *grid* de condiciones secas, para obtener la primera porción de esta selva.

A continuación, se realizó el análisis de relictos de esta selva, para lo cual se eliminan las coberturas ya encontradas (incluso la porción 1 de SBC) de los posibles sitios de SBC dados por el *grid* de SBC en condiciones de humedad, dando como resultado la posible porción de relictos SBC (SBC'). Por otra parte, se restan los que se confunden con AGR, para luego ser eliminados de la mencionada porción; este *grid* (SBC'') representa sitios con alguna probabilidad de ser otra cobertura, y que se estudian por separado de SBC'. A estos dos grupos se les analiza de acuerdo a su ubicación y a los factores ecogeográficos que la explican, de acuerdo con la literatura, así como con las observaciones en campo y sobre el visualizador Google Earth™.

El primer grupo de relictos se obtuvo discriminando los píxeles de SBC' y SBC2'' distribuidos de 301 a 600 msnm, sobre suelo Vertisol Pélico de textura fina, y con una fracción nubosa mayor que 30; en este caso se trata de sitios con SBC primaria, que se unen a esa primera porción ya elaborada.

Otra porción destacada de relictos se ubica sobre la sierra de La Palma, donde la mayor parte del territorio selvático contiene abundante vegetación secundaria. Aquí la cobertura se sitúa de 30 a 300 msnm, dentro de rasgos fisiográficos de Sierra Alta, Bajada Típica o Llanura Aluvial con Piso Rocoso o Cementado, sobre rocas Lutitas-Areniscas o Lutitas de formación Aragón o Velasco y con un rango de **PTAM** mayor de 422.3.

En los casos de relictos del sur de la Sierra de Tamaulipas y del valle de Antiguo Morelos- Chamal, se ubicaron de 101 a 300 msnm, eliminando las confusiones con SBEhzch; esto con una combinación de rangos de fracción nubosa de 50.6 a 60.1 y de **PTAM** de 422.3 a 457.9 para la Sierra de Tamaulipas; y para el valle, con 46.5 a 50.6 de fracción nubosa y **PTAM** de 422.3 a 460.26. Tanto este grupo como el anterior se unen posteriormente al *grid* SBEsbc, que es parte de la vegetación secundaria de SBC, y cuya distribución se explica después del análisis de relictos.

Un tercer grupo de relictos no fue posible aislarse por sus factores ecogeográficos, ya que su distribución está dada por los sitios que no se cultivan dentro de la zona agropecuaria; por lo que la aplicación de búsqueda booleana con esos factores se sobrepondría a la de esas coberturas. En este caso, se realizó una evaluación visual de los posibles relictos en Google Earth™, de donde se observó que aquellos píxeles cercanos a los identificados con cultivos permanentes o cuerpo de agua presentaban cobertura arbustiva y arbórea, mientras no sucedía así con aquellos asociados por su cercanía a las coberturas agrícolas cíclicas. Con estas consideraciones se digitalizaron polígonos para extraer los píxeles resultantes de la unión de los relictos de SBC' y SBC'', a los que además se le restaron los confundidos con SBE. Por sus características de aislamiento y baja densidad arbórea, este es un tercer grupo de píxeles que posteriormente se une con la cobertura de vegetación secundaria.

Finalizado el análisis de relictos, los *grid* resultantes se unen con las coberturas designadas, para integrar tanto la distribución preliminar de esta selva, tanto primaria como secundaria.

La cobertura que se presenta en situación secundaria de SBC, incluye terrenos agropecuarios que se abandonan intermitente o temporalmente, por lo que presentan selvas y bosques bajos con vegetación oportunista de rápido crecimiento que, incluye elementos espinosos como huizache y guácima. Un primer grupo de esta cobertura se construyó con la intersección de los píxeles de SBC en condiciones de sequía con el *grid* básico de posibles sitios de SBE (SBEsbc). Este grupo se une con los relictos correspondientes a esta cobertura, para enseguida eliminar las sobreposiciones posibles con la cobertura final de SBEhzch y finalmente agregar los píxeles producto del análisis de huecos.

Por su parte, la distribución definitiva de SBC se integra primero, analizando su cobertura preliminar con factores ecogeográficos. Al tratarse de una selva generalista de la cuenca media, esta búsqueda se realiza por eliminación de los sitios donde no se distribuye: ya sea sobre rasgos fisiográficos Bajada Típica, Llanura Aluvial de Piso Rocos o Cementado o Valle de Laderas Tendidas; o bien por la combinación de los rasgos Bajada con Lomerío, Meseta Típica o Valle Típico, con Suelos Cambisol-Cálcico, Feozem-Háplico, Litosol o Regosol-Calcárico. Al *grid* resultante se le resta tanto la sobreposición de AGTA en Sierra de Tamaulipas y en El Encino como la cobertura de SBCvs. Para finalizar, se integran los píxeles producto del análisis de huecos.

13. Matorral desértico rosetófilo (**MDR**)

En el área de estudio, este tipo de vegetación se restringe al altiplano tamaulipeco y a sus montañas circundantes, por lo que en la primera fase de su ubicación, se buscaron los píxeles clasificados como MDR a más de 650 msnm. A este primer *grid* (**Psbmdrec**) se le sustraen los de las anteriores coberturas y se analiza con los factores ecogeográficos: litología de Arenisca - Conglomerado de Formación Huizachal, Calizas y Lutitas de Formación Taraises, Conglomerado de Formación Reynosa o Suelos Aluviales; y los menores rangos en la cuenca de **PTAM** (hasta 365.4), fracción nubosa de hasta 30.08 y **LAI** menor a 30.1.

Enseguida, este *grid* es regionalizado para su análisis en componente norte y sur, debido a que, por su comportamiento espectral en el sur (el valle y la sierra sur de Jaumave, Palmillas y Bustamante) los píxeles de MDR se deben eliminar de las confusiones con AGTA; y al contrario en la porción norteña (sierras altas de Miquihuana y Jaumave).

Por ello, en el sur la operación booleana busca los píxeles que no tengan posibilidad de ser AGTA, y que los que sean MDR se encuentren sobre rangos fisiográficos de Bajada con Lomerío, Bajada Típica, Llanura Aluvial de Piso Rocos o Cementado o Sierra Plegada con Bajadas; y que presenten una fracción nubosa de 13.36 a 17.8 y **LAI** de 13.9 a 24.8

Para la parte norte se buscan los pixeles de **Psbmdrec** que coincidan en una parte con la fracción nubosa más baja (menor de 13.6) con **LAI** de 11.5 a 27.5; y por otra, los que se encuentren sobre Valle de Laderas Tendidas, dentro de una fracción nubosa de hasta 17.8 y con un **LAI** de 14.2 a 30.1.

Se descartan las sobreposiciones entre ambas coberturas para evitar duplicados y posteriormente se unen para formar la cobertura preliminar total. Para finalizar, se corrige la cobertura a través del proceso anexar, para unir los pixeles no evaluados por la diferencia de espacio evaluado.

14. Mezquital (*Prosopis* spp.) primario, **MZQ1**, y secundario (**MZQvs**)

Esta cobertura se situó entre 100 y 900 msnm, eliminando las coberturas ya elaboradas, para dar un *grid* preliminar. Para conocer la distribución de mezquital se tuvo la particularidad de que, al ser una tipología degradada en extremo, se integró primero el *grid* que representa su etapa sucesional, para así encontrar por eliminación el que contiene la vegetación prístina. De esta forma, se analizó la sobreposición del *grid* preliminar con el de posibilidad de ser AGTA, al que se le restaron las coberturas ya finalizadas, así como el *grid* de AGTA semifinal del altiplano y el temporal de PZI.

Para integrar la cobertura primaria, se restó al *grid* preliminar el de mezquital en sucesión; y como etapa final, se le añadieron los pixeles encontrados a través del análisis de huecos.

15. Bosque mixto de pino y encino, **BPE** y su fase de sucesión (**BEBPEvs**)

Estos bosques se localizan, junto con los de pino, en las mayores altitudes de la cuenca, por lo que se buscaron los pixeles de BPE que no coincidieran con las coberturas ya elaboradas, y que se encontraran en un rango de altitud de 900 a 2800 msnm (BPE-tmp). También en este caso se encontró que una porción significativa de la cobertura se confunde con sitios con manejo o en abandono, por lo que se procedió a iniciar la búsqueda con la vegetación secundaria. Primero, se buscaron sitios con intersección de BPE o BE con PZI, excepto en la intersección de éste con AGTA, con los que se formó una cobertura de vegetación secundaria para estos bosques.

Para obtener la vegetación primaria de BPE, se regionalizó el análisis en tres zonas que cuentan con este tipo de bosque: la Sierra de Tamaulipas, la región de El Cielo y la de las montañas altas de Miquihuana y Jaumave. En la primera, se buscaron los pixeles de BPE-tmp dentro del rasgo fisiográfico de Sierra Alta y que no se confundieran con la ya elaborada vegetación secundaria o con la cobertura potencial de AGTA. En la zona de **El Cielo**, se descartaron estos pixeles, así como la vegetación secundaria, el PZI, el BE y con el MSM, y que el resto coincidiera dentro de un **LAI** mayor que 19.5 y una **PTAM** de hasta 435 mm promedio anual.

Para la alta montaña, donde la **PTAM** anual es menor que 405 mm promedio anual y el **LAI** sea de hasta 19.5, se restan las coincidencias por una parte de factor nuboso (mayor a 28), vegetación secundaria, AGTA o PZI; y por otra parte los que se encuentren dentro del rango de **LAI** de 16.9 A 19.5 y de factor nuboso de 21.9 a 28.

Para la cobertura final se unen los *grids* de las tres zonas, restando la sobreposición posible con MSM, y posteriormente uniendo los píxeles del proceso “anexar”.

16. Matorral submontano (**MSM**)

Al igual que la SBC, por sus características estacionales el MSM es confundido con otros tipos de vegetación, especialmente con bosques de encino en las montañas de la Sierra Madre y con SBC en las bajadas de la Sierra de Tamaulipas y de la Cuesta de Llera. Para su ubicarlo, fue analizado en dos porciones al tiempo que al bosque de encino: en altitudes mayores de 650 msnm y límite superior de pendiente de 45%, correspondiente a los valles y montañas del Altiplano; la segunda correspondió a la zona de la Cuesta de Llera y a la Sierra de Tamaulipas, con un rango de altitud de 200 a 500 msnm y pendiente de 3 a 45.

Por observación directa en Google Earth™, se encontró que los bosques de encinos tienden a orientarse hacia el N y NW en la zona de MSM, por lo que se buscó esta cobertura para descartarla de los sitios con probabilidad de ser MSM. En este *grid* se buscaron los píxeles con fracción nubosa menor a 52.7 (con excepción de aquellos que dentro del rango de 38.3 a 40.3 tuvieran suelos Litosoles); al ser una cobertura extendida, otros factores fueron buscados por eliminación: píxeles que no se encontraran en sitios donde la **PTAM** sea de 402.1 a 435 y se intersecte con rangos de LAI de 16.8 a 19.5 o de 27.5 a 30.1; que los suelos no pertenecieran a los siguientes: Cambisol-Cálcico, Feozem-Calcárico, Feozem-Háplico, Litosol, Castañozem-Lúvico, Luvisol-Crómico, Regosol-Calcárico, Vertisol-Crómico o Vertisol-Pélico; que no pertenecieran a los identificados con probabilidad de ser BE y al mismo tiempo se encontraran sobre los rasgos fisiográficos de Bajada con Llanuras, Bajada Típica, Sierra Alta, Sierra Compleja, Sierra Plegada con Bajadas o Valle de Laderas Tendidas (así, el resto quedan como BE al eliminarse de esta cobertura ya finalizada).

Para finalizar, se le agregaron los píxeles del proceso “anexar”, así como los provenientes del análisis de huecos.

17. Bosque de encino (*Quercus* spp. , **BE**)

Los bosques de encino se distribuyen principalmente en las zonas montañosas medias de la cuenca, aunque existen relictos de encinos tropicales en el valle de Ocampo y en la **ZCTMA**. Por ello, se buscaron los sitios de BE en las imágenes que estuvieran en altitudes de hasta 1750 msnm, con pendientes menores a 45% y que no fueran alguna de las coberturas ya analizadas, para producir el *grid* primario. Este fue utilizado durante el proceso de MSM, por lo que los píxeles restantes se les eliminan otras coberturas finalizadas, así como las posibles coincidencias con actividades agropecuarias, especialmente de la cuenca media; para lo que se evitan las coincidencias con los siguientes factores: rocas de Basalto; o rocas Lutitas de varias formaciones con rango **PTAM** de 402 a 435 y fracción nubosa menor a 30; o combinaciones **PTAM/LAI** de 402-435/8.9-11.5, 422-457/8.9-19.5, 477-521.3/22.2-24.8.

Al *grid* resultante se le agregan los pixeles producto de su respectivo análisis de huecos, para obtener la cobertura final. Es necesario señalar que, por cuestiones de manejo, el bosque de encino secundario se añadió al de BPE, mediante el procedimiento que se describió en su momento.

COBERTURAS AGROPECUARIAS, O DELIMITADAS POR

Las actividades agropecuarias se consideran dentro del uso del suelo, que explica su distribución actual básicamente por criterios humanos más que por ecogeográficos; y aunque la agricultura precisa de ciertos factores ecogeográficos de suelo, pendiente y clima, su distribución actual viene dada por la accesibilidad al sitio en la mayoría de los casos, ya que se observaron importantes superficies con evidencias de abandono, los que en su mayoría se han identificado como relictos ya descritos en su respectivo tipo de vegetación. Por estas razones, los factores ecogeográficos usados como filtro de las coberturas agropecuarias fueron la altitud sobre el nivel del mar y la pendiente del terreno.

18. Agricultura de temporal con cultivos permanentes y semipermanentes (**AGTP**)

El primer grupo se ubicó en altitudes menores de 520 msnm y pendientes de hasta 24%, eliminando los pixeles con algún tipo de vegetación ya analizada. Estos se unen con las coberturas de confusión de AGTP con AGR o con AGTA, para obtener el *grid* preliminar

Por otra parte, se digitalizaron en Google Earth™ los polígonos de zonas con AGTP cartografiable (Figura III.4.1.6-4), para convertirlos a *shapefile* con el que se extrajeron los pixeles del *grid* preliminar, y finalmente se eliminan las sobreposiciones posibles con las coberturas de vegetación natural.

19. Agricultura de riego (**AGR**)

Se seleccionaron los pixeles de AGR con altitud menor de 1020 msnm y pendientes menores a 3%, restando las sobreposiciones con vegetación natural y AGTP, para generar el *grid* preliminar. Este *grid* fue analizado en tres partes: para la zona de riego de Jaumave, para los Distritos de Riego (**DDRs**) de la cuenca media, y para sitios no inventariados por el INF (UNAM, 2000). Cabe mencionar que no se usaron los polígonos supuestamente más actuales de la Serie III de INEGI (2005), debido a que agrupa la cobertura como “agrícola-pecuaria-forestal”, además de que ocupan la misma superficie que los del inventario.

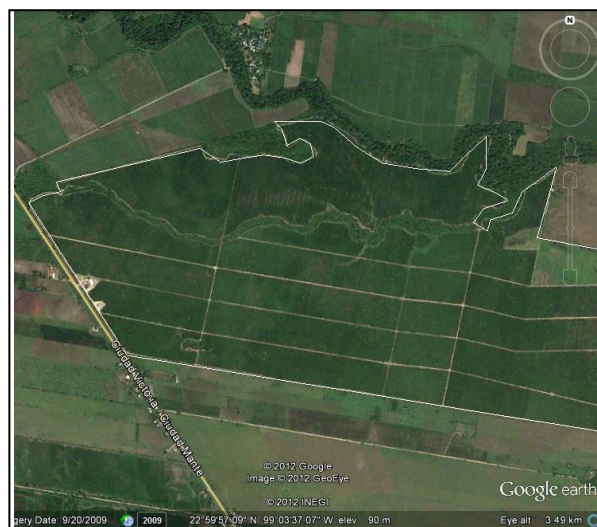


Figura III.4.1.6-4. Imagen de muy alta resolución que muestra agricultura de temporal con cultivos permanentes; en este caso, cultivo citrícola en sustrato arbóreo, y mezclado con vegetación de galería no cartografiable a la escala usada en este trabajo.

En los primeros dos casos, los el *grid* representa las áreas sostenidas por sistemas de riego dependientes de la red de canales e inventariadas por el INF. En los casos de Jaumave y la cuenca media, se extrajo el *grid* a partir del polígono de uso de suelo de INF (UNAM, 2000); para la cuenca media, además se eliminan las coincidencias con AGTP, ya que el INF no las contempla en su mayoría, probablemente debido a que algunas representan sitios abiertos al cultivo después del inventario.

La tercera parte se obtiene a partir del *grid* donde se intersectan AGR/AGTA/AGTP, y que presentan la misma edafología y litología de los polígonos de DDRs del INF (UNAM, 2000). Esta porción representa los sitios de riego no inventariados por INF, pero que al ser adyacentes, son zonas recién abiertas al riego, no necesariamente a través de la red de canales. Incluye algunos pastizales cultivados (en régimen de riego). Los suelos evaluados fueron Cambisol-Gléyico, Chernozem-Cálcico, Rendzina, Feozem-Calcárico, Fluvisol-Calcárico, Castañozem-Cálcico, Vertisol-Crómico, Vertisol-Pélico (en el caso de textura fina, que no se ubique sobre Meseta Típica o con Cañadas; donde tampoco debe encontrarse Regosol Calcárico); excluyendo el Cambisol Cálcico sobre Bajadas Típicas o Llanuras Aluviales. Estos tres *grid* se unen en uno solo para obtener la cobertura de AGR final.

20. Pastizal cultivado (PZC)

Representa áreas con pastos cultivados para consumo pecuario, por lo que se consideran las áreas de agostadero en la cuenca. Con un procedimiento similar a la integración de AGR, en primera instancia se buscan los pixeles de PZC con pendientes menores a 24% y una altitud máxima de 520 msnm, y que no coincidan con ninguna otra cobertura ya procesada. El *grid* así formado se extrae a partir de los polígonos del INF (UNAM, 2000). Se agregan además los pixeles que presentan pastizales cultivados sobrepuestos con, y que se han descartado de, otras con actividades agropecuarias.

21. Agricultura de temporal con cultivos anuales y semianuales (AGTA)

Este tipo de agricultura es la más generalista de la cuenca, además de que puede llegar a ser significativamente irregular en su presencia/ausencia (y por lo tanto, en sus características espectrales); esto debido tanto a las características propias del mismo manejo agrícola (donde se incluyen factores hidro-climatológicos), como por aspectos socio-políticos, culturales y económicos de los agricultores; esto último en ciertas condiciones puede provocar abandono temporal o permanente del cultivo, lo que redundaría en que un mismo pixel sea clasificado en diferentes imágenes como diferentes coberturas, especialmente agriculturas en diferente régimen, pastizales, o lo que luego se llega a clasificar como vegetación secundaria (lo que sucede cuando el abandono es más prolongado). Es importante recalcar que una significativa extensión de la cuenca presenta pixeles que confunden AGTA con pastizales inducidos, por lo que fue analizada por separado, y se describe en la metodología para integrar el PZI.

Por los motivos anteriores, ésta fue una de las últimas coberturas a identificar, siendo su primer filtro los pixeles que no pertenezcan a ninguna de las ya clasificadas, y que se encuentren en pendientes menores de 45%. Así se integró el *grid* preliminar.

Contrario a las necesidades de AGR y AGTP, este cultivo no se presenta en los altiplanos ni en las zonas montañosas, por lo que enseguida se procedió a analizar los sitios con probabilidad de ser AGTA en esas zonas. Para ello, se digitalizaron en Google Earth™ los polígonos de zonas con AGTA cartografiable (Figura III.4.1.6-5), para con ellos extraer los píxeles del *grid* preliminar.

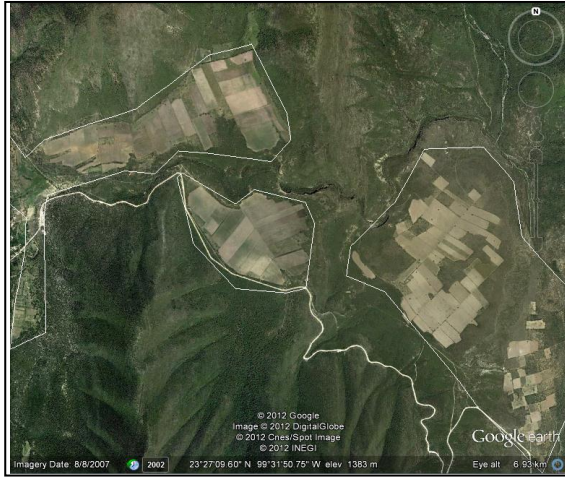


Figura III.4.1.6-5. Imagen de muy alta resolución que muestra agricultura de temporal con cultivos anuales cercanos a Magdalena Aguilar, en el municipio de Jaumave.

Por otra parte, al *grid* preliminar se le restan tanto la anterior cobertura (AGTA en el Altiplano), así como el total de las coberturas evaluadas. El *grid* resultante se une con la cobertura del Altiplano, y se le agregan los píxeles resultantes del análisis de huecos.

22. Pastizal Inducido (PZI)

Este tipo de cobertura es la más generalista y dinámica de la cuenca, por lo que se integró por eliminación de las anteriores. Representa zonas con crecimiento de pastizales y oportunistas en fases tempranas de desarrollo; ya que, por motivos naturales o antropogénicos se eliminó su cobertura vegetal

(incluyendo cultivos) y posteriormente no se le dio uso alguno.

Para definir los sitios con estas características, se buscaron sin restricción de altitud ni pendiente los píxeles clasificados como PZI en las imágenes. Como ya se había notado, se observó la existencia de una gran cantidad de píxeles de confusión AGTA/PZI, y que no eran ninguna otra cobertura analizada. Por lo tanto, al *grid* inicial se le eliminó esta confusión y el resto de las coberturas finales, para obtener el *grid* preliminar, al que se le añadieron los píxeles del análisis de huecos.

En cuanto a la mencionada confusión **AGTA_{pzi}**, se eliminaron los píxeles de PZI encontrados, así como las zonas de vegetación de galería encontradas mediante el análisis de huecos.

VEGETACIÓN DE GALERÍA

23. Vegetación de galería (Riparia, **RIPA**).

Al finalizar la integración preliminar de coberturas, y durante el análisis de huecos, se notó un patrón formado por huecos, píxeles de agua, relictos de selvas y algunos de agricultura, que por observación en Google Earth™ se identificaron como vegetación de galería. Por otro lado, se notó un polígono inventariado por [UNAM \(2000\)](#) como cuerpo de agua, pero que no estaba identificado como tal a través de las imágenes; situación similar a los polígonos identificados como “vegetación hidrófila” por [INEGI \(2005\)](#) y que en este trabajo y en el [INF \(UNAM, 2000\)](#) se clasifican como selvas medianas y bajas, terrenos agrícolas e incluso como zona urbana, como se observa en la Figura III.4.1.6-6.

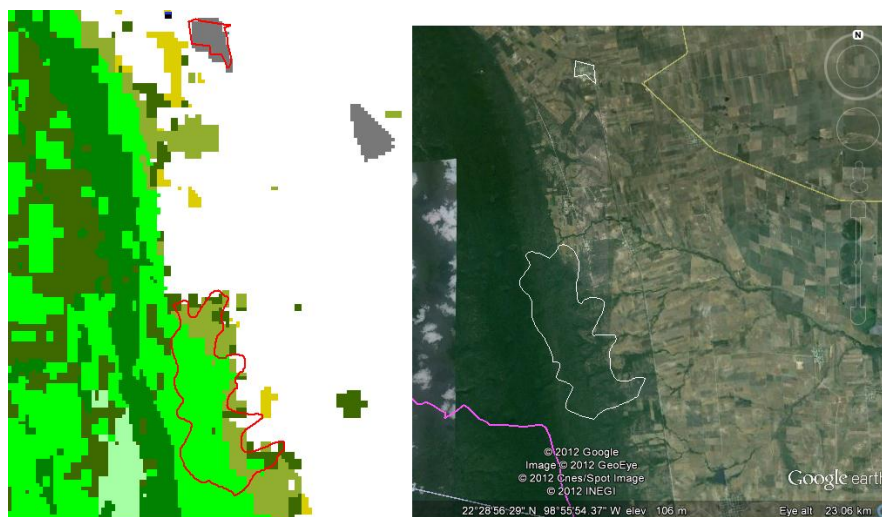


Figura III.4.1.6-6. Comparativa de los sitios que INEGI (2005) identifica como “vegetación hidrófila”. A la izquierda se señalan como polígonos delineados en rojo, sobre selvas y sobre el poblado en color gris. A la derecha la ubicación aproximada sobre imagen de muy alta resolución de los mismos polígonos (delineados en blanco).

Analizando el sitio confundido con agua, sobre el mencionado visualizador, se observó presencia arbórea densa (Figura III.4.1.6-7). Por su parte, los píxeles del polígono se no fueron clasificados como agua en ninguna imagen, sino como selvas o bosques; por lo tanto, al estar asociada al río Guayalejo se reclasificó como vegetación de galería. Por otra parte, fueron anexados los píxeles del análisis de huecos que coincidían en el polígono clasificado como “agua” por el INF (UNAM, 2000), así como los reclasificados de agricultura y pastizal.

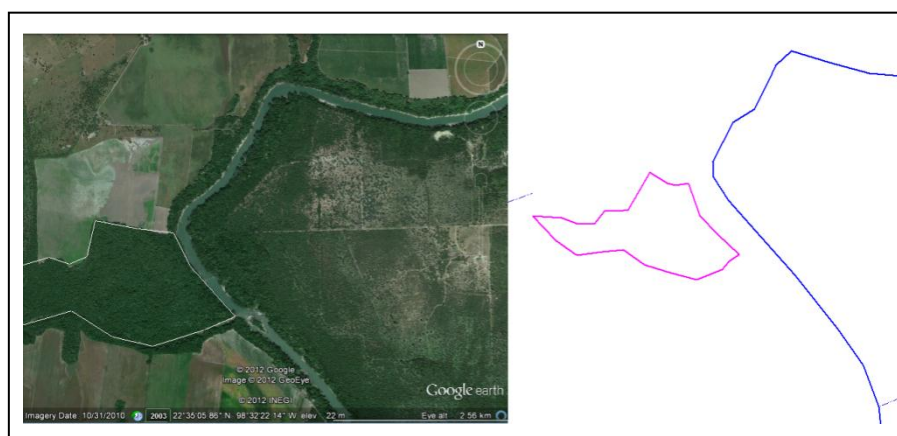


Figura III.4.1.6-7. Comparativa de los sitios que UNAM (2000) e INEGI (2005) identifican como “cuerpo de agua”. A la izquierda, la ubicación aproximada sobre imagen de muy alta resolución de los polígonos (delineados en blanco). A la derecha aparece en azul la polilínea del río Guayalejo y en magenta el polígono en cuestión.

- NOTA -

De este punto en adelante, se utilizarán las siguientes abreviaciones para la Vegetación y el Uso del Suelo:

LULC= siglas de *Land Use and Land Cover* para: Vegetación y uso del suelo
 AGR= agricultura de riego; AGTA=agricultura de temporal, cultivos anuales; AGTP = agricultura de temporal, cultivos permanentes y semipermanentes; AGUA= cuerpo de agua; BE= bosque de encino; BMM= bosque húmedo (mesófilo) de montaña; BP= bosque de pino; BPE= bosque de pino/encino; BT= bosque de táscate; DESN= suelo desnudo; INU= zona inundable; MAN= Manglar; MDR= matorral desértico rosetófilo; MSM= matorral submontano; MZQ1= mezquital; PALM= palmar; PZC= pastizal cultivado; PZI (pzi)= pastizal inducido; SAMS= selva alta y mediana subperennifolia; SBC= Selva baja caducifolia y subcaducifolia; SBEhzh= selva baja espinosa (incluye huizachal); SMSC= selva mediana caducifolia y subcaducifolia; TUL= popal-tular; URB= áreas urbanas; vs= vegetación secundaria

III.4.1.7. Evaluación de confiabilidad del mapa de LULC generado

Uno de los primeros conflictos detectados al intentar evaluar los SSAA con base en las cartas digitales de Uso de Suelo y Vegetación del INF (UNAM, 2000) y de la Serie III (INEGI, 2005) fueron los errores de clasificación, así como de ubicación de las coberturas vegetales. No obstante, Courtier (2011) afirma que –precisamente- estas dos instituciones, junto con la SEMARNAT, son las únicas en México cuya cartografía temática cuenta con una validación estadística de confiabilidad, pero a nivel parcial; esto por los costos adicionales que lleva una evaluación de este tipo y a las escalas manejadas.

INEGI (2004?) presenta en resumen las fuentes cartográficas y bibliográficas que las instituciones mexicanas han empleado como base para elaborar y actualizar sus propias cartografías. CONAFOR (2008), cuya cartografía se basa en la de INEGI, menciona que las bases principales para la cartografía son Miranda y Hernández (1963), Rzedowski (1978). Para su cartografía forestal, se basan en la Serie III (INEGI, 2005) y en imágenes MODIS. A su vez, INEGI (2005) parte de las anteriores series cartográficas, apoyándose en interpretación *visual* de imágenes LANDSAT del año 2002.

Aunque las dos instituciones mencionadas señalan que, para sus respectivas actualizaciones se apoyan en muestreos exhaustivos de campo, en este estudio se hizo evidente que, por motivos de tiempo y recursos, seleccionan sus sitios de muestreo basándose en los cambios de uso de suelo que detectan a través de medios satelitales. Couturier (2011) hace alusión a esto mencionando que los organismos oficiales no hacen evaluación estadística de la precisión de sus mapas a esa escala, por su dificultad y “las restricciones presupuestales”. Debido a esto, obvian el muestreo de aquellos sitios que no presentan cambios detectables en sus medios de nivel masivo, conservando la clasificación original de los autores antiguos, y produciendo algunos errores propios de las confusiones en la interpretación de imágenes y su manejo automatizado.

Por lo tanto, Couturier (2011) defiende la importancia de validar los mapas producidos a través de imágenes satelitales. Se refiere en este trabajo específico a los generados a través de imágenes del producto MOD12Q1, cuya confiabilidad global fue de 71% (citando a Fried *et al.*, 2002). Sin embargo, esta evaluación necesita mejorarse a través de evaluaciones regionales con características diversas. Por ello, realizó la evaluación de mapas producidos a partir de los productos de MODIS para el territorio mexicano, auxiliándose en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS, de CONAFOR, 2008) y la Serie III del INEGI (2005).

Este autor seleccionó al azar para cada clase 140 sitios de los 24,659 utilizados por CONAFOR (2008) para su monitoreo quinquenal, con el objetivo de evaluar la confiabilidad de los clasificadores, usando un método de enfoque difuso, integrando tanto aspectos temáticos como de posición y usando tres escenarios de verificación de diferentes grados de tolerancia. Obtiene como resultado el porcentaje del área total donde el mapa fue correctamente clasificado (índice global de confiabilidad), así como la confiabilidad de partes del mapa ocupadas por clases definidas, de “gran relevancia” si se utilizará para, entre otras, estimaciones de modificación del ambiente.

Con estas consideraciones, y debido a que, en su trabajo, [Courtier \(2011\)](#) reporta confusiones entre clases de imágenes **MODIS** similares a las encontradas en esta investigación, se simplificó (por las mismas razones de restricción de recursos) el método de evaluación que dicha autora propone, para encontrar la confiabilidad del mapa básico de Vegetación y Uso del Suelo.

La primera fase de esta evaluación fue seleccionar los sitios de entrenamiento y verificación en campo. Para ello, se visitaron sitios accesibles y que fuera posible distinguir con facilidad en la imagen, para cada uno de los tipos de vegetación que el **INF (UNAM, 2000)** clasifica para la Cuenca. Es necesario señalar que esta fase de campo se realizó para el trabajo de caracterización ecológica de la cuenca ([Requena, 2007](#)), desde 2003 a 2007; además se llevó a cabo una visita de verificación en Mayo de 2011 (el mayor registro de sequías para el periodo de evaluación de imágenes **MODIS**).

Con ese conocimiento previo del área de estudio, se seleccionaron los sitios de entrenamiento generales para las imágenes por analizar. Como éstos se fueron adaptando en específico sobre cada imagen, para la evaluación de confiabilidad se seleccionaron 106 sitios de entrenamiento correspondientes a la última imagen evaluada (Cuadro III.4.1.7-1), principalmente porque de ésta partió el análisis, al asignar la clase de áreas quemadas (QUE) las identificadas por el clasificador en esta imagen. Estos equivalen a los sitios que Courtier (2011) seleccionó para su evaluación y equivalen aproximadamente a un 3% del área de estudio.

Cuadro III.4.1.7-1. Sitios de entrenamiento para el análisis de confiabilidad del mapa de LULC.

Sitio	Clase	Has	Sitio	Clase	Has	Sitio	Clase	Has
AGR-gzIz	AGR	2138	BE-MIQUI-caduc1	BE (4)	412	INC-cieN	QUE	1067
AGR-gzIzS	AGR	772	BE-ocampo-caduco	BE (5)	554	INC-cieS	QUE	221
AGR-gzIz-verde	AGR	181	BE-Vic-caduc	BE (5)	420	Quemada-ManteS	QUE	153
AGR-jauN	AGR	73	BE-Vic-verde	BE (5)	534	Quemada-ManteW	QUE	146
AGR-jauNN	AGR	102	BMM-cieloN	BMM	456	Quemada-magdal	QUE (8)	58
AGR-manteN	AGR	658	BMM-cieloS	BMM	392	SAMS-GF	SAMS	587
AGR-manteW	AGR	122	BP1	BP	122	SAMS-ocampo	SAMS	154
AGR-xicoC	AGR	206	BP2	BP	105	SBC/SMSP-stamC	SAMS,SBC,SMC	545
AGR-xicoS	AGR	489	BP-miquiS-claro	BP	67	SBC-amorS	SBC	467
AGT-jauN	AGTA	290	BPE-cieloS	BPE	532	SBC-ocampo	SBC	555
AGT-palmillas	AGTA	323	BPE-JAU-vic	BPE	134	SBCvolc1	SBC	783
AGTA-altamira	AGTA (1)	563	BPE-stam	BPE	153	SBCvolc2	SBC	369
AGTA-GzIzE	AGTA (1)	548	BPE-JAUC	BPE (5)	1003	SBC-amorN	SBC (5)	375
AGTA-Llera1	AGTA (1)	679	BPE-JAUN	BPE (5)	1115	SBC-stamS	SBC (5)	562
AGTA-mante	AGTA (2)	1782	BPE-palmillas	BPE (5)	266	SBC-xico	SBC (5)	341
AGTA-mante-verde	AGTA (3)	1111	BT2	BT	416	SBCvs-magis	SBEhzch	590
PZI/ros-marce	AGTApzi	257	BT-miqui1	BT	239	SBE-xicoCN	SBCvs	63
AGTP-GFar	AGTP	74	PZI-jauC/suelo	DESN	393	SBE-Llera	SBEhzch	42
AGTP-Llera1	AGTP	176	MANGLR-tampico	MAN	216	SBCvs-magisN	SBEhzch (4)	134
AGUAmed-chairel	AGUA	485	MDR-bustamante	MDR	270	SBE-xicoN	SBEhzch (7)	57
AGUAmed-conejo	AGUA	543	MDR-JAU	MDR	83	SBCvs-epg	SBEhzch (7)	390

Continúa...

Cuadro III.4.1.7-1. Sitios de entrenamiento... (Continuación)

Sitio	Clase	Has	Sitio	Clase	Has	Sitio	Clase	Has
AGUAprf-caballero	AGUA	3469	MDR-JAU2	MDR	50	SBE-casas	SBEhzch (7)	299
AGUA-prf-epg	AGUA	378	MSM-casas	MSM	275	SBE-xicoC	SBEhzch (7)	339
AGUAsom-altamira	AGUA	433	MSM-cuesta-llera	MSM	80	SBE-xicoCS	SBEhzch (7)	403
AGUAsom-caballero	AGUA	359	MSM-jauE1	MSM	244	SBC/SAMS-Llera	SMSC,SAMS,SBC	532
AGUAsom-cablro-pix	AGUA	59	MSM-jauE2	MSM	57	SBC-nacim-hum	SMSC/SBC	485
AGUA-som-epg-pix	AGUA	39	MSM-jauW	MSM	375	TUL-alta	TUL	229
AGUAsom-salada	AGUA	268	MSM-jauNN	MSM (6)	200	TUL-altaS	TUL	148
AGUAsom-saladaS	AGUA	207	MZQ-jau	MZQ1 (5)	283	TULAR-tampico	TUL	1002
BE-cieloS-caduco	BE	217	MZQ-casas	MZQ1 (7)	250	URB-jaumave	URBA	64
BE-cieloS-oscuro	BE	451	MZQ-llera	MZQ1 (7)	65	Urbano-GZLZ	URBA (9)	532
BE-jauE3	BE	88	PLM-GF	PALM	47	Urbano-Mante	URBA (9)	1855
BE-ocampo-verde	BE	451	PZC-altam	PZC	933	Urbano-xico	URBA (9)	206
BE-stam	BE	366	PZC-Llera	PZC	1176	URB-tampico	URBA (9)	636
BE-Vic	BE	245	PZI-MIQUI	PZI (1)	305			
BE-cieloNN	BE/BMM	802	PZI-stam	PZI (1)	528			
							TOTAL	46,543

NOTAS: (1) incluye PZI o AGTA; (2) incluye PZI y QUE; (3) incluye PZI, AGR, PZC; (4) incluye vs y QUE; (5) incluye vs; (6) incluye QUE; (7) incluye vs y/o SBEhzch; (8) incluye NO DATA; (9) incluye DESN.

El método usado destaca por su simplicidad, ya que se extrajeron los pixeles del mapa *grid* de Vegetación y uso del suelo con los polígonos respectivos a cada área de entrenamiento. Estos polígonos se convirtieron a formato *grid*, para su combinación y posterior cálculo de superficies y porcentajes. El índice global de confiabilidad se obtuvo así por el promedio de confiabilidad de cada clase en los sitios evaluados.

III.4.2. Distribución espacial y evaluación socioeconómica de los SSAA

Se describen los métodos usados para obtener ocho de los SSAA que producen los ecosistemas naturales de la cuenca, de acuerdo con la información que estuvo disponible para realizar los mapas biofísicos y la evaluación socioeconómica. Es importante resaltar que en todas las valuaciones monetarias se buscó *el valor mínimo anual por hectárea* del SSAA. Aunque en algunos procesos se incluyen prestaciones de los usos de suelo humanos, los SSAA prestados por ecosistemas antropogénicos queda fuera del alcance de este estudio. Los tipos de cambio usados fueron los promedios de 2011 dados por www.banxico.org.mx: de 17.2805 pesos (MXN) por € y 11.7829 MXN por USD.

III.4.2.1. Calidad del Hábitat para la Biodiversidad

Fundamentos del modelo

Este modelo se basa en la identificación de los factores que amenazan a los ecosistemas y su nivel de afectación sobre los hábitats de la cuenca. Para su evaluación, se utilizó el nivel 1 de InVEST 1.005 para ArcGis 9.2, el cual parte de la base de que, con una mayor protección a los hábitats con mejor calidad, se protegerán también a sus componentes elementales (Grooves, *et al.*, 2002 EN Nelson *et al.*, 2011), como son sus poblaciones y su poza genética. Por otra parte, las amenazas a esos ecosistemas se evalúan bajo la idea de que la calidad del hábitat está en función de su cercanía a los usos antropogénicos del terreno y de la intensidad de estos (Nelleman *et al.*, 2001 y Forman *et al.*, 2003 EN Nelson *et al.*, 2011); dichos factores inducen la formación de efectos de “frontera” que

facilitan la entrada de elementos de degradación del hábitat, aunado a una tendencia a degradarse y aislarse del conjunto; esto a su vez provoca la reducción en la capacidad de contribución del hábitat en la sobrevivencia de las especies.

Tallis *et al.* (2010) menciona que el modelador de InVEST se refiere la “calidad del hábitat” en el mismo sentido que la “integridad del hábitat” es entendida: un sitio con poca alteración, cuya estructura y funciones presentan variaciones sólo de carácter histórico (Figura III.4.2.1-1); aunque eso no significa que algunas áreas degradadas no puedan tener un buen nivel de aportación a la biodiversidad. A este respecto, el modelador otorga a cada celda del mapa *grid* un valor de calidad (**HQ**), de acuerdo con su localización respectiva a los usos humanos a su alrededor y su impacto sobre el hábitat que representa la celda, referidos por los siguientes parámetros que describe Nelson *et al.* (2011):



Figura III.4.3.1-1. Planta no identificada en el bosque encino al sur de la Sierra de Tamaulipas.

r_1, r_2, r_3, \dots, R = usos amenazantes a la HQ

D_{yr} = promedio, densidad o ausencia/presencia de R en una unidad espacial. Para este caso, se utilizó el parámetro ausencia/presencia

w_r = ponderación del impacto relativo de r

Estos autores mencionan que el modelo considera la potencial existencia de elementos naturales o artificiales que actúan como barreras ante la degradación; específicamente menciona pendientes extremas o ANPs. Estas son estimadas a través del parámetro $\beta_{xr} \in [0,1]$, donde una mayor resistencia se representa por 1. Para el caso de la cuenca, el valor se dejó como inexistente, ya que por una parte las pendientes extremas están en sitios inaccesibles, relativamente lejos de las perturbaciones antropogénicas; por otra parte, las ANPs, además de ser poco accesibles y sensiblemente alejadas de las influencias antropogénicas, tampoco representan una barrera legal estrictamente aplicada en la realidad, ya que no existen recursos públicos para su vigilancia, que es llevada informalmente por pobladores y trabajadores de las zonas “ecoturísticas” (localidades de El Cielo o las cabañas de Peña Nevada). Cabe mencionar que existen organizaciones e intentos de planes de manejo, pero se conoce la experiencia de la introducción de un tendido eléctrico de Gómez Farías a Altacima (en la Reserva de la Biósfera y ANP estatal de El Cielo), para el supuesto beneficio a menos de 50 familias que ya contaban con sus propios generadores de celdas solares.

Otros parámetros que refiere Nelson *et al.* (2011) son: d_{xyr} como la distancia de la celda x , y la unidad espacial y en el mapa a la LULC amenazante; y $\alpha \in [0,1]$ el parámetro que determina la rapidez con que la influencia de la amenaza decae con la distancia. Por lo tanto, el impacto potencial está dado por:

$$Dx = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^Y \omega_r x_{fr}(\beta_{xr}, \alpha_r, d_{xyr}) x D_{yr}$$

Donde $\omega_x \text{ fr } (\beta_{xr}, \alpha_r, x d_{yr})$ traslada el valor de D_{yr} a un impacto en el píxel x . Cuanto mayor es D_x , mayor el impacto potencial del uso antrópico del suelo sobre el hábitat de la celda x .

Construcción del modelo biofísico)

Para dar valores a los parámetros mencionados, primero se obtuvo la ubicación espacial de las actividades antropogénicas sugeridas por Tallis, *et al.* (2010) para el nivel 1 de INVEST 1.005 en ArcGis 9.2, como amenazantes a los hábitats. Para ello, se generaron mapas en formato *grid* y posteriormente se integró una tabla (Cuadro III.4.2.1-1) con la distancia máxima estimada de afectación a la calidad del hábitat (cuyo impacto llega a cero al alcanzar esa distancia); el peso ponderado de la amenaza sobre esa calidad con relación a otras amenazas; así como la forma de disminución a través del espacio (1= lineal, con afectación proporcional en toda la distancia; 0= exponencial, con afectación sensiblemente superior con la cercanía).

Cuadro III.4.2.1-1. Importancia relativa, distancia de afectación y forma de decaimiento de las amenazas evaluadas en la cuenca.

Identificador	Amenaza	Distancia máxima (Km)	Importancia relativa	Forma de Decaimiento
1	Mancha urbana (incluye actividades industriales)	10	1	1
2	Agricultura de Riego	8	0.7	1
3	Pastizal cultivado	4	0.3	0
4	Agricultura de temporal (anual)	4	0.5	0
5	Agricultura de temporal (permanente)	2	0.5	1
6	Actividades de campismo	5	0.7	0
7	Incendios	10	1	1
8	Actividades mineras	4	0.8	1
9	Extracción ilegal de flora y fauna	5	0.8	0
10	Carreteras pavimentadas	4	0.8	1
11	Caminos de terracería	2	0.5	1

A continuación, se generaron los mapas en formato *grid* de las amenazas:

Asentamientos humanos y actividades industriales. Estas amenazas se integraron como Manchas Urbanas, con la mayor importancia relativa como amenaza a los hábitats, por sus altos niveles de desechos de todo tipo, contaminación lumínica, visual y auditiva, generación de fauna nociva para especies locales. Al *grid* de manchas urbanas generado en el proceso de Uso de Suelo, se le dio una distancia máxima de afectación de 10 kilómetros con una forma lineal de decaimiento.

También con los valores más altos como amenaza, se integraron las **zonas más propensas a incendiarse**. Se representaron con la vegetación clasificada en el Atlas de Riesgos de Tamaulipas (Gob. Edo, 2011) con alto y muy alto riesgo de incendio por índice vegetal. Para el riesgo “muy alto” se agruparon BP, BPE y BEBPEvs; para el “alto”: BE, BMM, BT, MSM, SAMS, SBC, SBCvs, SBEhzch, SMSC y PALM.

Las **actividades agropecuarias** se representaron por los mapas de agricultura de riego y temporal, así como el de pastizal cultivado para actividad ganadera. Los valores de afectación se tomaron del manual de InVEST (Tallis *et al.*, 2010), que supone las actividades agrícolas en riego con un 70% de la afectación relativa a las zonas urbanas, con una afectación del 80% y la misma forma de decaimiento; valores más bajos (50%) se otorgaron a la agricultura en sistema de temporal, que también contribuye con productos químicos artificiales al ecosistema, así como afectaciones por movimiento de vehículos a las zonas, pero en menores densidades.

Para los ciclos anuales se ingresó una distancia de la mitad de la del sistema de riego y a su vez la mitad de esta a los cultivos permanentes, con una importancia de 50% para ambos tipos de ciclo. Debido a que el “hábitat” que alojan los primeros es destruido cada ciclo, y sus actividades son similares a las de riego, se consideró el decaimiento igual a este, mientras que a los permanentes se le otorgó el decaimiento exponencial. Finalmente, al pastizal cultivado, se le consideró con menor importancia relativa (30%), por su baja densidad en la zona, y con valores iguales a los de los ciclos agrícolas anuales.

Las **actividades de campismo** se incluyen con la idea de que los campistas ponen en riesgo los ecosistemas más frágiles, que les resultan muy atractivos, a la vez que se encuentran muy aislados. Por esos motivos, muchas veces suelen trasnochar en el sitio, aumentando el riesgo de incendios, daños a la vida silvestre y abandono de desechos sólidos, por lo que lo considera con una alta importancia relativa (70%), aunque en la zona es de carácter puntual (con 50% en la distancia de afectación y un decaimiento exponencial). No obstante, los sitios con alta demanda de visitas debido a su atractivo y a una mayor accesibilidad a la zona también son considerados como actividades de campo; por ello se evalúan como amenaza en este modelo, pero se analizarán con más amplitud en los de servicios paisajísticos; estos sitios presentan menores amenazas a los ecosistemas frágiles (por su accesibilidad), pero gran parte de los mismos se encuentran aledaños a zonas agropecuarias.

No existe un inventario de los sitios con poca accesibilidad para visitarse, y el mapa de vías de comunicación terrestre no cuenta con gran parte de los senderos existentes. Por este motivo, se consideró como un indicador adecuado de actividades de campo a las fotografías ubicadas correctamente en el visualizador GoogleEarth™ y fuera de sitios urbanos y agrícolas. Es necesario señalar que, aunque se inventariaron 689 fotografías (Figura III.4.2.1-2), estas no cubren la totalidad de los sitios que se tiene conocimiento de haber sido visitados, por lo cual no se integraron a esta evaluación. La información fue descargada en formato KML y convertida en .SHP para obtener un *buffer* de dos kilómetros, que a su vez fue transformado a *grid* para integrarlo a la evaluación.

Las actividades de **extracción minera** se obtuvieron por una parte, de las minas reportadas por UAT (2001) y por otra los sitios que menciona el SGM (2011), que fueron ubicados en el visualizador de GoogleEarth™, exportados en .KML y convertidos a .SHP para unirse con los primeros y elaborar un *buffer* de un kilómetro de los sitios (Figura III.4.2.1-3). Por su carácter invasivo y destructivo de hábitat, aunque de baja productividad en la cuenca, se le consideró un impacto de 80% relativo al Urbano, con

decaimiento exponencial; pero al ser de carácter puntual, se le otorgó una distancia máxima de efecto de un 40% relativo al urbano.

Para representar la amenaza por **extracción ilegal de flora y fauna**, que en este caso considera el saqueo de los ecosistemas donde hay las especies de interés que menciona el INE (Naranjo y Dirzo, 2009), principalmente cactáceas, orquídeas y zamicáceas en la flora, y aves, reptiles y mamíferos en la fauna. Ejemplos de estos grupos, así como los tipos de vegetación en la cuenca donde se presenta con más intensidad el saqueo, se muestran en el Cuadro III.4.2.1-2. Estos tipos coinciden en su mayoría con los ecosistemas de montaña.

Para evaluar esta amenaza, se construyó un *buffer* de un kilómetro de brechas, veredas, carreteras de terracería y líneas de ferrocarril. Estas son las vías de acceso a los ecosistemas con abundancia de especies carismáticas con demanda en el mercado ilegal, ya que su tráfico escaso y la nula vigilancia por parte de las autoridades, facilitan la extracción de ejemplares de sitios adyacentes a estas vías.

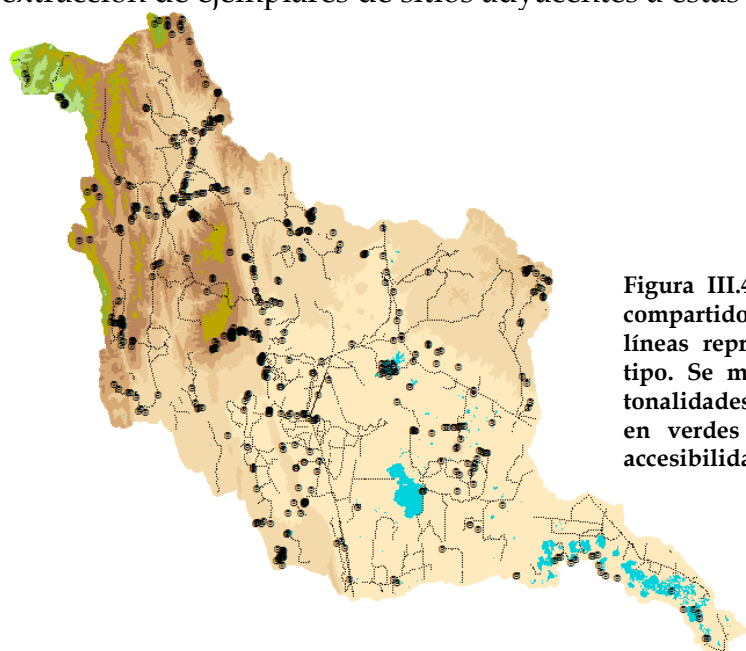


Figura III.4.3.1-2. Sitios fotografiados por campistas y compartidos en GoogleEarth™ (diciembre de 2011). Las líneas representan las vías de comunicación de todo tipo. Se muestran en azul los cuerpos de agua y en tonalidades beige-marrón los sitios con menor altitud y en verdes las más altas, para dar una idea de la accesibilidad a los sitios.

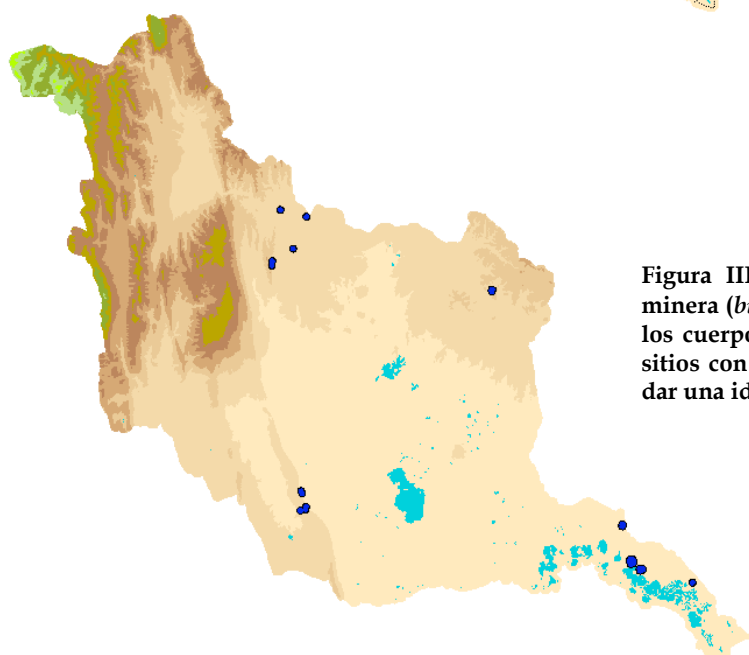


Figura III.4.3.1-3. Sitios con actividades de extracción minera (*buffer* a 1 Km) en la cuenca. Se muestran en azul los cuerpos de agua y en tonalidades beige-marrón los sitios con menor altitud y en verdes las más altas, para dar una idea de la accesibilidad a los sitios.

Cuadro III.4.2.1-2. Especies carismáticas con demanda de saqueo en tipos de vegetación de la cuenca.

Grupo	Ejemplo	Estatus en la NOM-059-ECOL2010	Tipos de vegetación asociados
Cactáceas	<i>Echinocactus platyacanthus</i>	Endémica, protección especial	MDR, MSM, SBE, SBC
Orquídeas	<i>Mammillaria roseoalba</i>	Endémica, protección especial	SAMS, BMM, BE, SMSP,
Zamiáceas	<i>Dioon edule</i>	Endémica, Peligro de extinción	MDR, SBC, SMSP, BE, BMM
Reptiles	<i>Crotaphytus collaris</i>	Amenazada	MDR, MDR, MSM, MZQ, SBE, SBC
Aves canoras	<i>Cardinalis cardinalis</i>	Endémica, protección especial	MDR, MSM, MZQ,
Aves ornato	<i>Amazona oratrix</i>	Peligro de extinción	BP, PAL, SAMS, SMSC, RIPARIA
Felinos	<i>Panthera onca</i>	Peligro de extinción	SAMS, SBC, SMSC, SBE

Fuente: elaboración propia con datos de SEMARNAT (2010).

Se le dio una importancia relativa de 80%, ya que no hay total libertad de extracción debido a que las únicas rutas de tráfico en la cuenca hacia los puntos de mercadeo son las carreteras pavimentadas, que sí cuentan con vigilancia policial; lo cual desalienta en parte este tráfico. La distancia máxima de afectación desde el camino hacia el interior del hábitat es de cinco kilómetros, con un decaimiento exponencial, considerando la distancia que se recorre a pie desde el mismo.

Respecto a la amenaza que representan las **vías de tránsito por carretera**, Ritters y Wickham (2003, en Coffin, 2007) estimaron que el efecto zonal en un hábitat dado por una carretera pavimentada puede llegar hasta cinco kilómetros alrededor de la misma. Para la zona, el *grid* de esta amenaza se obtuvo por la generación de un *buffer* de 4 Km del mapa de vías de comunicación (cortesía de UAT, 2001) sobre las carreteras pavimentadas; de ese mismo mapa se obtuvo un *buffer* de 2 km sobre los caminos de terracería para evaluar esta amenaza, considerando esta distancia porque cuentan con tráfico sensiblemente menor y en su mayoría carecen de infraestructura y de mantenimiento al nivel de las pavimentadas. El decaimiento se ingresó como lineal para ambos tipos de vías, mientras que la importancia relativa de las pavimentadas fue de 80% y la de terracerías de 50%. Es importante mencionar que las vías férreas no se incluyeron como tal, ya que en el área de estudio van paralelas a las carreteras pavimentadas.

Otro de los requisitos de entrada es la evaluación del mapa de Vegetación y uso de suelo, dependiendo de la sensibilidad relativa (con valores que van de 0 para la más amenazada, a 1 la menos) de cada clase del mapa a cada amenaza dada, que en algunos casos puede entenderse como la probabilidad de convertirse a ese uso (por ejemplo, MSM a AGTA, o AGTA a URB). La sensibilidad de los usos antropogénicos ante la amenaza representada por ese mismo uso es igual a 1. Además, debe especificarse una puntuación de aptitud como hábitat con valores entre 0 y 1; dando a los LULC de vegetación natural primaria un valor de 1 (100%) y en el extremo contrario a las zonas urbanas/industriales (como sugiere el manual INVEST 1.005) y a las superficies quemadas. Al resto de coberturas se les asignaron términos intermedios (20, 30, 50 y 70%), como se observa en el Cuadro III.4.2.1-3.

Cuadro III.4.2.1-3. Vegetación y uso de suelo, con su aptitud como hábitat y su sensibilidad a cada tipo de amenaza presente en la cuenca (en términos relativos).

LULC	Aptitud	L_urb	L_agr	L_pzc	L_agta	L_agtp	L_cmp	L_inc	L_min	L_xtr	L_cpv	L_ctr
PZI	0.40	0.30	0.50	0.50	0.80	0.50	0.50	0.00	0.20	0.80	0.50	0.20
BPE	1.00	0.00	0.50	0.50	0.30	0.20	0.20	0.00	0.20	0.00	0.20	0.30
BMM	1.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.40	0.10	0.00	0.50	0.00	0.20	0.30
BEBPEvs	1.00	0.00	0.50	0.50	0.30	0.20	0.20	0.00	0.20	0.00	0.20	0.30
AGTA	0.30	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	0.30	0.80	0.50	0.70
AGTApzi	0.70	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.00	0.00	0.30	0.30	0.50	0.50
MSM	1.00	0.00	0.30	0.30	0.20	0.20	0.50	0.00	0.30	0.00	0.00	0.30
BE	1.00	0.00	0.50	0.50	0.30	0.20	0.20	0.00	0.20	0.00	0.20	0.30
MDR	1.00	0.00	0.20	0.60	0.50	0.20	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.30
BP	1.00	0.00	0.30	0.50	0.30	0.50	0.10	0.00	0.20	0.10	0.20	0.30
QUE	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MZQ1	1.00	0.00	0.20	0.40	0.10	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.30
MZQvs	1.00	0.00	0.20	0.40	0.10	0.00	0.50	0.00	0.50	0.20	0.00	0.30
DESN	0.20	0.00	0.20	0.50	0.80	0.50	0.50	0.50	0.00	1.00	1.00	1.00
URBA	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
BT	1.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30	0.00	0.20	0.30	0.20	0.30
SBC	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.30
SMSC	1.00	0.00	0.20	0.20	0.10	0.10	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.30
AGR	0.30	0.00	1.00	0.70	0.70	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.50	0.70
AGUA	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.50	1.00	0.50	0.50	0.70	0.70
SAMS	1.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.30	0.20	0.00	0.50	0.00	0.00	0.30
SBCvs	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.20	0.00	0.30
PZC	0.50	0.50	0.80	1.00	0.20	0.00	1.00	0.00	0.20	1.00	0.50	0.50
SBEhzch	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.30
AGTP	0.70	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.30	0.50	0.80	0.50	0.70
PALM	1.00	0.00	0.50	0.20	0.10	0.30	0.50	0.00	0.70	0.00	0.00	0.30
RIPA	1.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.10	0.20	0.00	0.50	0.00	0.00	0.30
INU	0.50	0.20	0.30	0.50	0.50	0.50	0.30	0.80	0.00	1.00	0.80	0.80
TUL	1.00	0.00	0.10	0.70	0.70	0.70	0.80	0.50	0.00	0.10	0.00	0.30
MAN	1.00	0.00	0.00	0.40	0.70	0.50	0.10	0.50	0.00	0.10	0.00	0.30

Notas: L_= sensibilidad del LULC a la amenaza: urb=mancha urbana; agr= agricultura de riego; pzc= pastizales cultivados; agta= agricultura de temporal, cultivos anuales; agtp= agricultura de temporal, cultivos permanentes; cmp= actividades de campismo; inc= incendios; min= minería; xtr= extracción ilegal de flora o fauna; cpv= carretera pavimentada; ctr= camino de terracería. Fuente: elaboración propia.

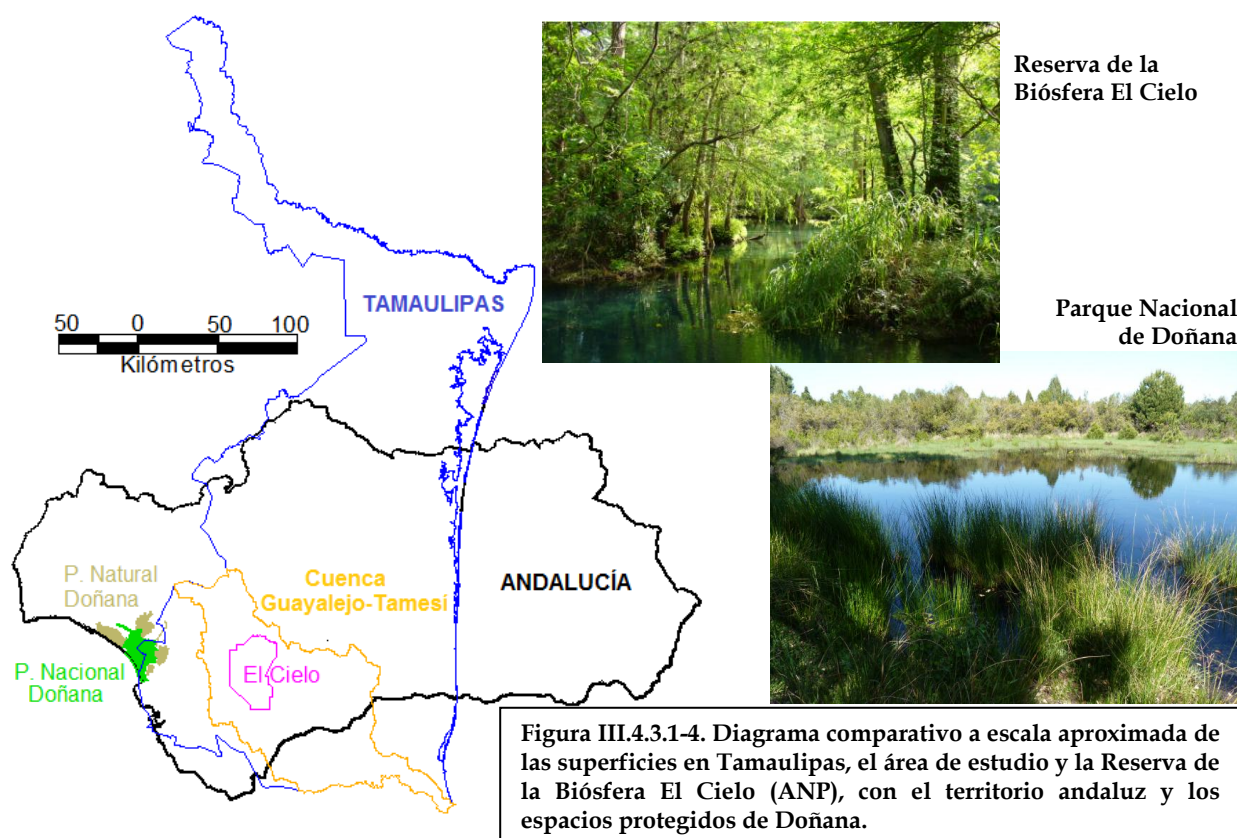
Evaluación socioeconómica del modelo

El modelador del INvEST 1.005 entrega un mapa de calidad relativa de hábitat y otro de degradación de los ecosistemas, pero no incluye una evaluación cuantitativa de su importancia para la sociedad expresada en valor monetario mínimo. Por ello, se diseñó una metodología sencilla que permitiera agregar este valor con los de los otros SSAA evaluados.

Para estimar el valor mínimo que la sociedad otorga a una biodiversidad bien conservada, se utilizó el mapa de “calidad de hábitat”, haciendo la suposición de que dicha sociedad valora más un hábitat con alta calidad o mejor salud (y mejor

biodiversidad) que los de menores calidades o peor salud ambiental. Para convertir este dato cualitativo en cuantitativo, se multiplicó cada pixel del mapa por un valor anual por hectárea, dado por el costo para la administración pública de gestionar una ANP (que se supone tiene la más alta calidad de hábitat) menos las ganancias que se obtengan (en este caso, el coste de entrada y los productos aprovechados).

El ANP de referencia fue el Parque Nacional de Doñana, en Huelva, España, para ser comparado con **El Cielo**, ubicada en la cuenca. Este Parque, y no alguno en México, se eligió debido a que, además de contar con información consistente y detallada, la sociedad española tiene bien entendido y aceptado lo que es un espacio natural de esa importancia, respaldando las acciones de conservación y restauración, pues el 65% ha visitado alguno de ellos (Mediavilla, *et al.*, 2011); casi lo contrario sucede en la sociedad mexicana, donde el 52% nunca ha estado en una ANP, por lo que se necesitan acciones para lograr que las valoren adecuadamente y con ello respalden estrategias de conservación (Bezaury-Creel, 2009). La Figura III.4.2.1-4 muestra una comparativa aproximada de las superficies de Tamaulipas y en Andalucía, incluyendo la ubicación de los espacios naturales protegidos del Parque Nacional de Doñana y **El Cielo**. Aunque los datos transferidos corresponden sólo al Parque Nacional, como forma de comparación en la figura se incluye el polígono del Parque Natural, ya que de esta forma las superficies son más aproximadas (144 mil ha en El Cielo, y alrededor de 111 mil en Doñana).



Se calcularon los montos en función de la diferencia del salario mínimo entre México y España para enero de 2012, cuya relación fue de 1:5.92 (España-México). El tipo de cambio peso-euro usado fue el correspondiente al cambio promedio de 2011 reportado por BANXICO (<http://www.banxico.org.mx/>), de 17.2805 pesos por euro.

Los valores del modelo se obtuvieron como se muestra a continuación:

1. Inversión *total* anual por superficie:

P.N. Doñana Inversión total (2008) = 22'144,840.80 € Superficie: 54,252 ha. http://reddeparquesnacionales.mma.es Inversión anual por hectárea = 408.19 €/ha- Doñana	El Cielo Superficie: 144,530 ha. Inversión anual por hectárea: = 408.19 €/ha/5.92 = 68.95€/ha
--	---

2. Ganancias (suponiendo que se obtiene un 30% de ganancia a partir de los ingresos brutos de cada rubro).

a) Ingresos brutos por visitas

P.N. Doñana Precio por visitante (8hrs) = 50€ http://www.donanareservas.com/visitas.php#tipos_visita No. de visitantes por año = 380,156 (Ministerio de Medio Ambiente, 2009, en <i>Bosque</i> , 2011) Densidad de visitantes =380,000 visitantes /54,252 ha. = 7 visitantes/ha Ingresos brutos por visitas = (50€*0.3)*380,000 visitantes = 5'700,000 €/año Ingreso bruto por hectárea = 105.07 euros año/ha	El Cielo Precio por visitante = 50€/5.92 = 4.23€ (el precio actual sólo al Centro de Interpretación es de 1.73 euros) Densidad de visitantes 7 visitantes/ ha * 144,530 ha = 1,011,710 visitantes/ año Ingresos brutos supuestos por visitas = (4.23€*0.3)* 1,011,710 = 1,283,860 €/año Ingreso bruto por hectárea = 8.88 euros año/ha
--	--

Relación ingresos brutos por visitas= 11.83:1 México: España

b) Ingresos brutos por aprovechamientos 2008 (<http://reddeparquesnacionales.mma.es/>)

Concepto	Descripción	Ingreso (€)
Madera (<i>Pinus pinea</i>)	metro cúbico con corteza de madera en pie	331,063.12
Colmenas		1,464
Aprovechamiento ganadero de montes	cabezas ovino	12165
Recolección de Piñas	Kg	27,600€
Leñas	estéreos	361948.48 (añadiendo 0.18% de IVA)
Recolección de Aromáticas	Kg. de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	600
Eucalipto rojo	fustes de eucalipto para construcción y mantenimiento de invernaderos	30
TOTAL		734,870.6€

Subtotal aprovechamientos= 734,870.6€

Subtotal visitas= 5'700,000€

Total de ingresos = 6'434,870.6€

Total ganancias Doñana (suponiendo un 30% de utilidad) = 1'930,461.18 €/año

Total ganancias por hectárea= 35.6 €/año/ha

Valoración socioeconómica del P.N. Doñana

Ganancia - inversión = 1'930,461.18€ - 22'144,840.80€

Total = -20'214,379.62€ anuales (372.62€ anuales/ha)

Al resultar negativa esta cantidad, se puede decir que, si la sociedad española invierte más de veintidós millones de euros al año en el P.N. Doñana, está dispuesta a asumir una pérdida *aparente* de más de veinte millones anuales. Este es el mínimo con que se debe sentir retribuida al mantener el valor de la calidad del hábitat para la biodiversidad.

Extrapolando a El Cielo:

Total por hectárea supuesto (relación: 5.92 veces) = 62.94 € año/ha

Que es el valor de los ecosistemas de la cuenca por mantenimiento de un hábitat adecuado para la conservación de su biodiversidad. Finalmente, este se multiplica por el mapa de calidad de hábitat.

III.4.2.2. Captura y almacén de carbono

De acuerdo con Tallis *et al.* (2010), el conocimiento de los sitios con mayor capacidad de captura y almacén de carbono, puede ser representado con mayor eficiencia en forma de mapas. Por lo tanto, el modelo biofísico de este SSAA procesado a través de InVEST 1.005 representa el almacén de carbono por unidad de superficie (en este caso, hectáreas) en el terreno. Almacén y captura dependen en gran parte de cuatro depósitos ("sumideros" o "pools") en el ecosistema, como se observa en la Figura III.4.2.2-1: biomasa aérea (tallo, hojas, ramas, etc.), biomasa subterránea (los sistemas radiculares vivos), suelo y materia orgánica en descomposición (hojarasca y madera muerta).



Figura III.4.2.2-1. El modelo conceptual de secuestro y captura de carbono. Los parámetros en negro no se incluyen en el software INVEST 1.005, los de color sí; en este estudio sólo se incluyen los de color azul (Fuente: elaboración propia con base en Tallis, 2010).

El modelador está habilitado para incluir un quinto depósito, referente a la madera de cultivos y que es convertida en productos de vida media o larga (muebles, casas, etc.). Este último no fue considerado en el presente trabajo porque, aunque existen algunas plantaciones de cedro (*Cedrela odorata*) melina (*Gmelina arborea*), árbol de teca (*Tectona grandis*) y *Pawlonia elongata*, las instituciones oficiales no especifican la producción proveniente de cultivo. Por otra parte, no es posible ingresar al modelador la información de productividad forestal actual en Tamaulipas, debido a que ésta proviene de “zonas de producción” en vegetación “no restringida” (vegetación de clima templado-frío, selvas bajas y medias, vegetación de zonas áridas), sin que exista un mapeo de las parcelas y una cuantificación adecuadas para los fines de este trabajo.

Por otro lado, es importante señalar que el actual Programa Forestal para Tamaulipas (Sosa, 2006?, para CONAFOR), contabiliza como “existencias volumétricas” las del total de las superficies boscosas. La Figura III.4.2.2-2 muestra el mapa de la zonificación forestal presentado en dicho documento; es notable que áreas de conservación no se encuentran bien definidas y al mismo tiempo resultan contradictorias, al señalar por ejemplo un área con producción maderable media y baja en la Sierra de Tamaulipas, que es una zona de conservación; tampoco señalan que se trata de una ANP (en proceso de decreto), y no se indica la de Peña Nevada (en Miquihuana).

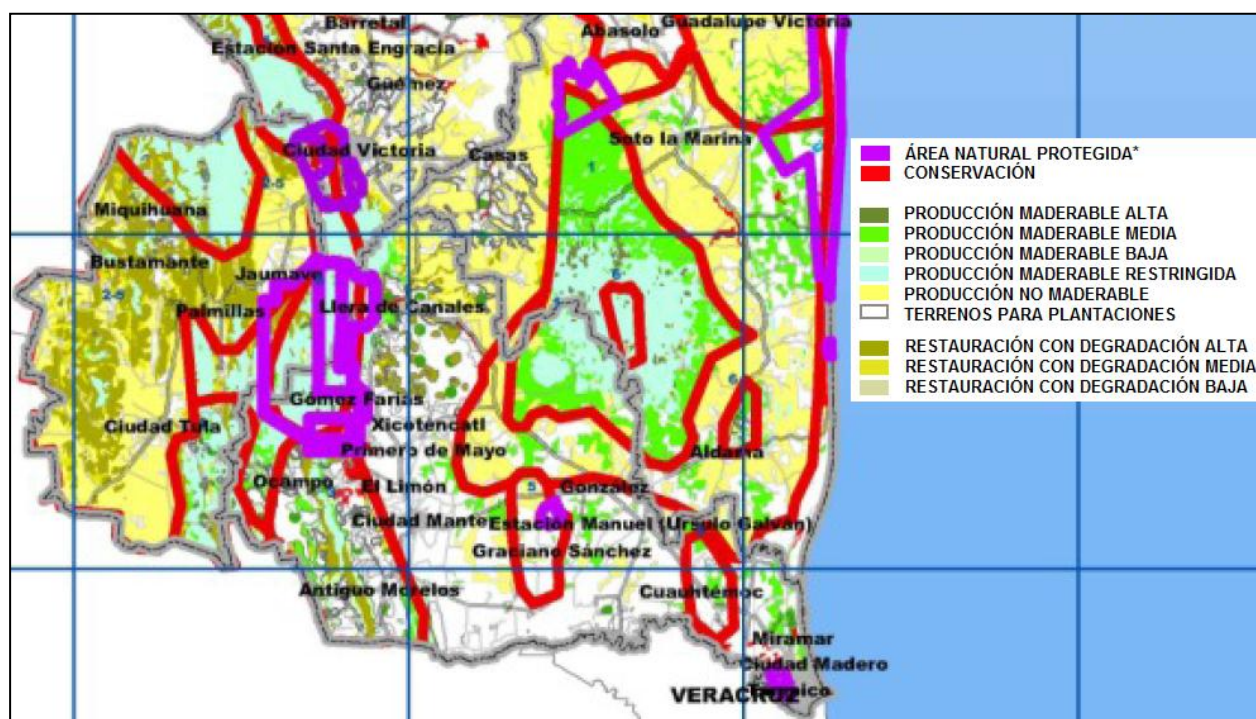


Figura III.4.2.2-2. Fragmento del “Mapa de Zonificación Forestal” presentado en el Programa Estratégico Forestal del Estado de Tamaulipas 2006-2025 (tomado de Sosa, 2006?). La leyenda se superpuso para mayor claridad en este trabajo. *Esta leyenda no aparecía en el mapa de la fuente, por lo que fue agregada.

Fundamentos del modelo

Es importante aclarar que, en este trabajo, sólo se evaluó mediante el modelador el servicio de almacenamiento de carbono, debido a que la captura implica un incremento del carbono almacenado a través del tiempo (Tallis *et al.*, 2010); esto significa la necesidad de evaluar una mapa futuro del LULC, cuya proyección del actual rebasa los alcances del presente trabajo. Los valores encontrados para los diferentes depósitos de

carbono fueron ingresados al modelador del InVEST 1.005 (nivel 1) para evaluar el mapa de LULC, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$C_t = \sum C_{aj} + C_{bj} + C_{sj} + C_{oj}$$

C_{aj} , C_{bj} , C_{sj} , C_{oj} son las toneladas métricas de carbono almacenado (en Mg de Ca ha⁻¹) en los depósitos del LULC_j, donde $j=1,2...J$ son los LULC presentes en el área de estudio. El modelador entonces realiza la suma algebraica de cada uno de los depósitos para cada celda del *grid* que representa un LULC de la cuenca, devolviendo así el carbono total almacenado (C_t).

Construcción del modelo biofísico

Se investigaron los promedios de carbono fijado por cada depósito de cada clase del LULC en las referencias bibliográficas, buscando aquellas que refirieran estudios de ecosistemas tamaulipecos o similares en otras partes de México o del mundo. Se hicieron también las siguientes consideraciones generales:

- Todas las cantidades se homogenizaron a carbono equivalente, multiplicando por un factor de 0.2727 cuando el autor hacía su reporte en toneladas de CO₂.
- Cuando sólo se encontraron valores de biomasa, se multiplicó por un factor de 0.5 para obtener el carbono fijado, según sugieren Brown y Lugo (1984, en [Palm, et al., 1999](#)).

Consideraciones particulares, para los casos donde no se encontraron valores específicos para el LULC o alguno de sus depósitos:

- Los valores para algunos LULC están dados por estudios hechos para especies indicadoras, como el caso de *Typha dominguensis* para Tular ([Ohsowski, 2008](#); [Plascencia y Kvet, 1993](#); [Rocha y Goulden, 2009](#); [Marín, et al. 2011](#)); *Prosopis juliflora* y *Cordia alliodora* para Mezquital ([Barth y Klednneson, 1982](#)); *Ludwigia octovalvis*, *Echinochloa polystachya*, *Cyperus esculentus* y *Polygonum spectabile* para biomasa aérea de zonas inundables ([Rodríguez y Henry, 2010](#)).
- En los cuerpos de agua, se incluyeron para a) biomasa “aérea” los valores de *Myriophyllum aquaticum* y *Eichhornia azurea* ([Rodríguez y Henry, 2010](#)) sumados al fitoplancton de agua dulce ([Metanczuk, 2008](#)).
- Para la materia orgánica en descomposición de: a) la selva baja espinosa, se tomó el valor de la hojarasca del matorral espinoso tamaulipeco reportado por [Návar y Jurado \(2009\)](#); b) en las zonas quemadas, se dio el valor de las cenizas para cultivo de caña de azúcar estimado por Pulido (1987, en [Hernández, et al., 1995](#)).
- En caso de la clase “suelo desnudo”, se le otorgó el valor estimado para el suelo urbano ([Roshetko, et al., 2002](#)), mientras que el resto de los depósitos se le valoró con cero.
- Los depósitos de las áreas urbanas fueron valorados con las referencias de [Roshetko, et al. \(2002\)](#) para suelo y jardines urbanos, que contemplan condiciones más húmedas que las del sur de Tamaulipas (donde se ubican las mayores manchas urbanas de la cuenca) y que permiten un arbolado y ajardinado abundante dentro de la ciudad: 100 m.s.n.m., temperaturas promedio de 28°C y lluvias abundantes (5-6 meses con más de 2000 mm de precipitación)

Otras consideraciones:

- Para la agricultura en sistema temporal de ciclo anual, se tomaron los valores referidos por [Etchevers, et al. \(2001\)](#) para los sistemas equivalentes (en labranza tradicional) de la región Mixe de Oaxaca, donde la vegetación natural está representada por bosques secundarios.
- En la agricultura de riego, se utilizó la caña de azúcar como indicador, y en particular en cuanto al suelo, la estimación de [Vianei \(2009\)](#) para cultivos de caña con quema de seis años y la medición a 30 cm de la superficie.
- En la agricultura con cultivos permanentes, se utilizaron los valores que reporta [Carvajal \(2009\)](#) para cítricos.

A continuación, se muestran los valores encontrados para los diferentes depósitos de carbono (Cuadro III.4.2.2-1). Estos fueron ingresados al modelador del InVEST 1.005 para evaluar el mapa de LULC.

Cuadro III.4.2.2-1. Carbono promedio anual (en Mg) almacenado por hectárea en cada depósito del LULC.

LULC	C _{aj}	Referencia	C _{bj}	Referencia	C _{sj}	Referencia	C _{oj}	Referencia
AGR	27.38	6	1.13	33	27.13	3	0.61	33
AGTA	4.82	7	2.89	7	298.00	31	0.00	7
AGTA _{pzi}	2.45	39	1.49	39	120.70	39	13.10	39
AGTP	41.80	10-23-31	13.60	40	108.90	31	1.13	23
AGUA	8.56	43,46	0.39	43	180.00	45	16.60	44
BE	29.80	7	14.20	7	45.00	7	7.62	7
BEBPE _{vs}	83.31	13	16.50	13	36.00	32	0.31	13
BMM	56.70	12	3.32	7	152.00	7	5.89	7
BP	118.00	9	19.00	9	120.00	9	5.03	17
BPE	83.31	13	16.50	13	36.00	32	0.31	13
BT	118.00	9	19.00	9	120.00	9	5.03	17
DESN	0.00	-	0.00	-	60.80	34	0.00	-
INU	7.45	43,46	14.00	28	180.00	45	16.60	44
MAN	156.40	22	127.00	22	164.40	18	57.60	22
MDR	5.18	9	0.27	9	16.36	9	1.40	41
MSM	5.18	9	0.27	9	16.36	9	1.40	41
MZQ1	45.11	36	5.00	36	56.36	36	6.58	36
MZQ _{vs}	35.57	15	5.00	36	20.00	32	6.58	36
PALM	59.85	29	1.12	39	21.00	29	0.30	29
PZC	19.20	1,2,38	7.50	1, 2, 38	113.10	1,38	1.60	2
PZI	10.10	1	2.50	1,38	113.10	1,38	1.60	2
QUE	0.05	37	1.70	37	20.10	37	0.15	15
RIPA	11.84	30	4.60	30	12.47	30	2.28	30
SAMS	50.72	9,14	1.09	9,14	31.36	9,14	195.00	14
SBC	69.40	13	13.70	13	83.70	1,14	11.50	13
SBC _{vs}	137.00	14	10.00	14	354.00	14	0.70	14
SBE _{hzch}	14.73	9	0.00	9	27.27	9	4.34	41
SMSC	153.00	14	13.00	14	113.00	14	28.00	14
TUL	4.39	24/25	36.79	24/25	288.00	26	17.30	47
URBA	35.60	34	8.80	34	60.80	34	2.00	34

Fuente: elaboración propia con datos de diferentes autores (referencias en el anexo de la bibliografía).

Finalmente, para obtener los valores del *grid* de acuerdo con cada clase del LULC, se realizó un *combine* con el *grid* de éste con cada mapa generado como producto del modelador.

Cálculo del secuestro de carbono

Al no contar con un mapa antiguo de LULC para estimar el secuestro de carbono en la Cuenca a partir del modelador, se buscaron en la literatura los valores de fijación para ecosistemas con la mayor edad reportada en la fuente, y que pudieran equivaler a los LULC, como se muestra en el Cuadro III.4.2.2-2. Estos valores se multiplicaron por la superficie de cada LULC.

Cuadro III.4.2.2-2. Fijación anual de carbono en ecosistemas equivalentes a los LULC de la cuenca.

Ecosistema descrito	LULC	MgC/año	Fuentes
Vegetación de ladera secundaria y alterada	PZI	2.50	Etchevers, et al., 2001
Bosques tropicales	SBC, SMSC	5.50	Szott-94; Hought95 en Etchevers, et al., 2001
Acahuales	BMM	5.00	Etchevers, et al., 2001
Bosque tropical secundario con altas tasas de uso	AGTApzi	1.65	Uhl <i>et al.</i> (1988) en Kauffman, et al., 2009
Pastura con árboles dispersos	PZC	3.90	Messa, 2009
Cultivo de caña de azúcar	AGR	4.20	Messa, 2009
Paisaje mínimo urbano	URB	0.03	Zirkle <i>et al.</i> EN Lal y Agustín (2012)
SBC después de quemarse, a largo y corto plazo	QUE, SBCvs	2.50	Vargas, et al., 2008
Cultivo de naranjo	AGTP	5.60	Carvajal, 2009
Agricultura de barbecho	AGTA	1.00	Návar-Chaidez, 2008
Bosque tropical deciduo	SBC	3.90	Martínez-Yrizar, 1992 EN Clark, et al., 2001
Bosque de mezquite	MZQ	1.94	Scott, et al., 2006
Matorrales	MDM, MDR	0.80	Emmerich, 2002
Bosque de matorral espinoso tamaulipeco	MET, MSM	1.08	Návar-Chaidez, 2008
Bosque de encino no degradado	BE	5.86	Jina, et al., 2008
Bosque de pino no degradado	BP	5.86	Jina, et al., 2008
Bosque de encino degradado	BEBPEvs	1.66	Jina, et al., 2008
Bosque de pino degradado	BEBPEvs	1.17	Jina, et al., 2008
Bosque tropical lluvioso	SAMS	5.90	calculado a partir de Mahli, et al., 2002
Planicie inundable	INU, AGUA	1.80	Zehetner, et al., 2009
Plantío de palma de aceite	PALM	7.99	Foong, et al., 2009
Dunas: se asume que no existe secuestro en este ecosistema	DESN	0.00	Xie y Leschen, 2012
Biomasa aérea de <i>Juniperus occidentalis</i> (1); bosque de coníferas, centro de Durango (2)	BT	1.55	(1) Gholz, 1980 ; (2) Aguirre-Bravo, 1987 EN Návar y Rodríguez, 2005
Manglar	MAN	1.80	Duarte, et al., 2005 EN Xie-y-Leschen, 2012 ; Nellemann, et al., 2009 EN Bezaury, 2009
<i>Typha</i> sp. (cattail marsh)	TUL	2.64	Bernal y Mithc, 2012
Ecosistema ripario	RIPA	1.50	Bernal y Mithc, 2012 ; McCarty y Ritchie (2002) EN Kayranli, et al., 2010

Evaluación socioeconómica del modelo

Como refiere [Tallis, et al. \(2010\)](#), este modelo se basa en que el valor de este SSAA está dado por los daños a la sociedad que se ahorran al evitar que una unidad de carbono se libere a la atmósfera, por medio de su almacenamiento en los ecosistemas; o bien, por capturar una unidad de CO₂ como contaminante atmosférico. Por ello, en este trabajo se

asume que el valor mínimo de la tonelada de carbono en los ecosistemas de la cuenca es igual al pago por tonelada de CO₂ equivalente otorgado por las autoridades de gobierno (CONAFOR) a través de su programa de Pago por Servicios Ambientales. Esta cantidad es de \$71.42 MXN, calculados para la zona de estudio con base en los criterios para el PAS por captura de carbono especificadas por SEMARNAT/CONAFOR (ver el Cuadro III.4.2.2-3), que para ingresarse al modelo, se multiplica por 3.67 para obtener el precio por tonelada métrica de carbono que el procesador requiere, y posteriormente se deflacta este precio de 2009 (que es el año de finalización de ese programa) a octubre de 2011, utilizando el índice nacional de precios al consumidor (de 1.077408 según BANXICO), lo que significa casi 284.71 MXN.

Cuadro III.4.2.2-3. Obtención del precio social de la tonelada de carbono en la cuenca, con base en los criterios para PAS de CONAFOR (SEMARNAT, 2004, Anexo 4), donde se seleccionaron los conceptos aplicables al área (resaltados en gris), siguiendo las instrucciones de la dependencia, que adiciona 1.19 MXN “por cada punto acumulado al precio base de \$50 pesos M.N. por tonelada de CO₂e”, pagando “un mínimo de 50 y máximo de \$100 pesos M.N. por tonelada de CO₂e.”

CONCEPTOS PARA LA VALORACIÓN DIFERENCIADA DE LOS PROYECTOS	PUNTAJE (+1.19 MXN por punto)
a) Proyectos en terrenos con pendiente promedio mayor a 20%:	3
b) Que el proyecto especifique al menos dos actividades que tengan un impacto positivo sobre su cuenca hidrológica	1
c) Ubicado en zonas dentro de una ANP u otro tipo de zona de conservación	3
d) Que el proyecto especifique al menos 2 actividades que tengan un impacto positivo sobre un AICA	2
e) Que el proyecto especifique al menos dos actividades que tengan un impacto positivo sobre un sitio Ramsar (Humedales de importancia mundial)	1
f) Proyecto que favorece hábitat de especies en la NOM-059-Semarnat-2001.	
Al menos una especie en peligro de extinción:	2
Al menos una especie amenazada:	1
Al menos una especie sujeta a protección especial:	2
g) Terrenos del Proyecto dentro de la poligonal geográfica del Programa de Manejo Sustentable de Ecosistemas de Montaña de la CONAFOR	3
h) Proyectos que propongan un manejo agroforestal sustentable	1
i) Utilización de especies forestales nativas	3
j) Proyectos forestales cuyo aprovechamiento sustentable se destine a usos estructurales (industria de la construcción, artesanal o mueblera), lo que garantizaría la no emisión de Bióxido de Carbono	3
k) Proyectos que incluyan la optimización del uso de dendroenergía, sustituyendo el consumo de combustibles fósiles	3
l) Que los solicitantes cuenten con esquemas de organización de productores con niveles de consolidación clara hacia el manejo sustentable y con las características que exige el mercado de servicios ambientales de que se trate	3
m) Si es ejido o comunidad, Asociación o Sociedad	3
n) Ubicado en municipio indígena conforme a INEGI	
Presencia indígena	2
Mayoría indígena	3
o) Equidad de Género	
El grupo promotor del proyecto incluye mujeres	1
El grupo promotor es de mujeres	2

(CONTINÚA) ...

Cuadro III.4.2.2-3. Obtención del precio social ... (CONTINÚA)

CONCEPTOS PARA LA VALORACIÓN DIFERENCIADA DE LOS PROYECTOS	PUNTAJE (+1.19 MXN por punto)
p) Solicitantes de localidades y municipios de marginación según los indicadores del Consejo Nacional de Población.	
Marginación muy alta	3
Marginación alta	2
Marginación media	1
q) Solicitudes que involucren a 300 o más personas	2

Fuente: SEMARNAT, 2004

Puntos mínimos aplicables en la cuenca	18 (21.42 MXN)
PAS por tonelada CO ₂ e _q	50+ 21.42 = 71.42MXN
Precio social mínimo (MXN) de tonelada de Carbono	264.254 a 2009 284.709 a oct 2011
Precio social mínimo por tonelada de Carbono (€ de octubre de 2011)	16.47576 €

III.4.2.3. Aporte de agua como indicador de disponibilidad para su consumo doméstico, y retención de nutrientes como indicador de su purificación



Figura III.4.3.3-1. Producción de agua en un manantial natural del municipio de Gómez Farías.

La provisión de agua superficial de un terreno y la retención de contaminantes son función del comportamiento de la cobertura vegetal y el uso de suelo. Tallis, *et al.* (2010) refieren que la modelación de ambos SSAA implica en primera instancia, construir un modelo simplificado del balance hídrico, que se enfoca en la cuantificación del agua superficial, y no distingue ésta de la subterránea (lo que requeriría otro enfoque, fuera de los alcances de este trabajo); con esta base se evalúa la retención de contaminantes.

El balance hídrico construido a través del nivel 1 del INvEST parte de la hipótesis de Milly (1994, en

Mendoza, *et al.*, 2011), de que una estimación aproximada de la provisión de agua en un terreno puede obtenerse a partir de la interacción local entre las fluctuaciones de la precipitación y la Evapotranspiración Potencial (ETP), con las propiedades de almacenamiento del suelo. Esta diferencia es calculada como la provisión o aporte de agua (*Water Yield*) en cada pixel del área de estudio, indexándolo como $x = 1, 2, 3 \dots X$, y a través de la ecuación:

$$Y_{xj} = \sum_j \left(1 - \frac{AET_{xj}}{P_{xj}} \right) \cdot P_{xj} \cdot A_{xj}$$

Donde:

Y_{xj} = Aporte de agua del pixel x en el LULC j

AET_{xj} es la ETP real anualizada del pixel x que tiene un LULC j .

P_{xj} es la precipitación anual en el pixel x , con un LULC j .

A_{xj} es el área del pixel x en el LULC j .

La porción del balance hídrico respectiva a la ETP dada por AET_{xj}/P_{xj} es parte de la curva de Budyko (Zhang *et al.*, 2001, en Mendoza, *et al.*, 2011):

$$\frac{AET_{xj}}{P_{xj}} = \frac{1 + \omega_{xj}R_{xj}}{1 + \omega_{xj}R_{xj} + \frac{1}{R_{xj}}}$$

Donde:

R_{xj} es la proporción de ETP potencial respecto a la precipitación, o índice de aridez de Budyko (Budyko, 1974; en [Mendoza, et al., 2011](#)) en el pixel x del LULC j .

ω_{xj} es la Proporción del Agua Almacenada Accesible para las Plantas (PAWC) respecto a la precipitación anual esperada.

P_{xj} es la precipitación anual en el pixel x , con un LULC j .

La PAWC caracteriza el balance de agua en las comunidades vegetales, dentro de unas condiciones prevalecientes de clima y de suelo (Milly, 1994; Potter *et al.*, 2005; Donohue *et al.*, 2007; en [Mendoza, et al., 2011](#)):

$$\omega_{xj} = Z \left(\frac{AWC_x}{P_{xj}} \right)$$

Donde:

AWC_x es el volumen (en mm) del agua contenida en el suelo que está disponible para las plantas.

Z es un parámetro usado como constante de calibración, que se aplica a cada subcuenca.

P_{xj} es la precipitación anual en el pixel x , con un LULC j .

De acuerdo con [Mendoza, et al. \(2011\)](#) el modelo se basa en el principio de que, con el exceso de saturación de la escurrentía, se pueden estimar los flujos de nutrientes y sedimentos a través del área de estudio. Se obtiene un índice de escurrentía construido a partir de un índice topográfico, el cual contiene una función de permeabilidad del terreno. El promedio de retención de nutrientes (fósforo y nitrógeno) lo genera a partir de la ubicación de cada pixel respecto de la ruta de flujo corriente abajo, combinando conceptos de conductividad hidráulica con los índices de escurrentía de cada pixel.

Este método utiliza como factor rector principal para modelar los indicadores de rendimiento hídrico, carga y retención de contaminantes y sedimentos. Es necesario señalar que el servicio de retención de sedimentos no se evaluó debido a que es prestado en sitios donde es necesario evitar la sedimentación de los afluentes para mantener las actividades humanas; esto sólo estaría afectando al puerto de Tampico, pero al ubicarse en el río Pánuco, el límite sur de la cuenca llega hasta la porción terrestre, por lo que es muy poco significativo el impacto de este servicio ([Mendoza, et al., 2011](#)).

La retención de nutrientes que permite una buena calidad del agua, depende principalmente de la capacidad de la cubierta vegetal y del suelo para evitar su pérdida y retener las procedentes de otros pixeles ubicados corriente arriba. De esta forma, la vegetación actúa como un filtro natural para retener el exceso de nutrientes descargado a los afluentes como producto de las actividades humanas, evitando así los daños que pudieran causarse a los ecosistemas.

λ_x es el índice de escurrentía, basado en el promedio de aporte de agua del pixel x , dado por:

$$\lambda_x = \text{Log} \left(\sum_u Y_u \right)$$

Donde $(\sum_u Y_u)$ es la suma del aporte de agua en los pixeles a lo largo de la ruta de flujo arriba del pixel x .

EAf_x es el factor de ajuste de exportación, dado por:

$$EAf_x = \frac{\lambda_x}{\lambda_w}$$

Donde λ_w es el promedio de escurrimiento en la subcuenca de interés.

Pol_x es la carga contaminante en el pixel x , basada en el coeficiente de exportación con que cuenta el tipo de LULC del pixel. El valor ajustado de carga, ALV_x estará dado entonces por:

$$ALV_x = EAf_x * Pol_x$$

Preparación de los insumos del modelo

Cartografía y datos derivados del MDE. Se obtuvo un *subset* del **MDE** de 90m (formato *Geotiff*) del Explorador Global de Datos de la USGS/NASA. Las coordenadas aproximadas de corte fueron de 22 a 24° LN y -99°35 a -100°LW, para que cubriera algo más de la zona de estudio. A partir de éste, se generó en ERDAS 9.2 un *subset* (en formato .img) de un *buffer* de 1km alrededor de la cuenca, que posteriormente fue proyectado a UTM-NAD27 y después convertido a formato ESRI-grid.

Con el módulo ArcHydro para ArcGis 9.2, se rellenaron los sumideros (*sink*) del **MDE** y se obtuvieron las áreas de subcuenca y el valor del umbral de acumulación del flujo, que es la cantidad máxima de celdas que conforman una corriente, y que resultó en 13,151.

Cartografía y datos derivados de la edafología. El *grid* con la profundidad del suelo se generó a partir del mapa de INEGI (2000) clasificado por tipo de suelo, al que se le agregó el atributo de profundidad, de acuerdo con las características de los perfiles realizados en campo por la UAT (2001). Para los tipos de suelo que no se estudiaron en Tamaulipas, se ingresaron –como sugiere el manual– los valores encontrados en la literatura (Bueno-Jáquez, *et al.*, 2005; Gómez, *et al.*, 2007; Granados-Sánchez, *et al.*, 2003).

La fracción del contenido de agua en el suelo disponible para las plantas (**PAWC**, *Plant Available Water Content*) se obtuvo, como sugiere el manual de INVEST (Tallis *et al.*, 2010) mediante el uso del *software* SPAW 6.02.75 (Saxton, 2005) para análisis del agua del suelo. Se ingresaron los datos de los perfiles de UAT (2001) respectivos a los contenidos de arcilla, arena, materia orgánica, salinidad, grava y compactación del perfil representativo de cada tipo de suelo. En algunos casos no se reportaban los contenidos de arena y arcilla como porcentaje en los perfiles, por lo que se ingresaron los que devolvió el programa al ubicar el punto medio en la casilla del triángulo de textura (Figura III.4.2.3-2).

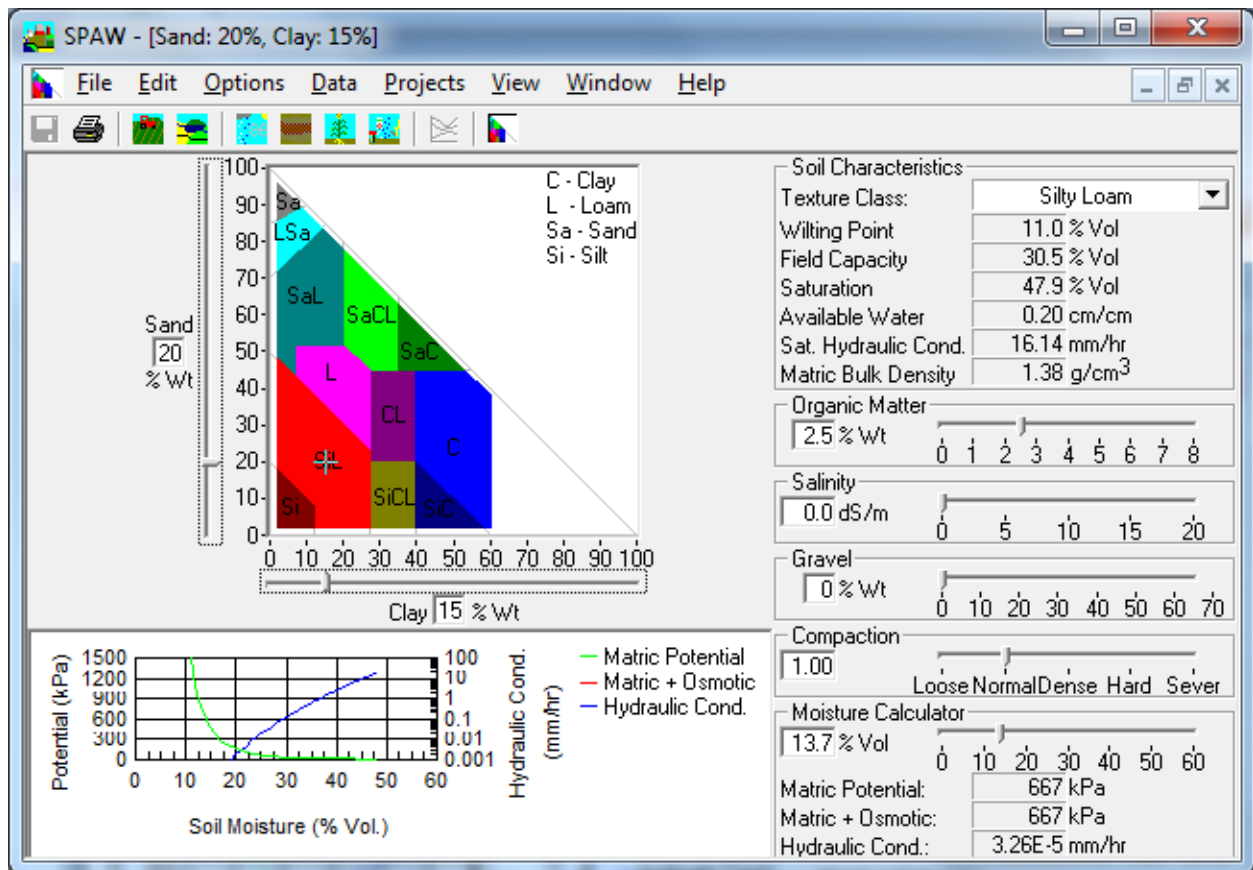


Figura III.4.2.3-2. Aspecto del programa SPAW durante el análisis de características de agua en el suelo.

Con esos datos, el SPAW devuelve la cantidad de agua disponible y otros datos como la capacidad del suelo y el punto de marchitez permanente. La fracción se obtiene dividiendo la cantidad de agua disponible entre la profundidad del suelo. El PAWC se agregó como atributo al *grid* del tipo de suelo. El Cuadro III.4.2.3-1 muestra los datos por tipo de suelo en los perfiles estudiados por la UAT (2001), mientras que los datos para construirla por cada uno de los perfiles se muestra en el ANEXO DIGITAL 3.

Cuadro III.4.2.3-1. Datos de profundidad, disponibilidad de agua, la fracción disponible en los perfiles analizados por UAT (2001) de los suelos de diferentes sitios en Tamaulipas.

Tipo de suelo	Sitio-UAT	Prf 1	AW1	Prf2	AW2	Prf3	AW3	PAWC1	PAWC2	PAWC3	PAWC	Prof_S
Agua	N.A.	0	0	0	0	0	0				0	
Cambisol-Cálcico	Xicoténcatl	300	9.3	1120	11	2000	9.3	0.03100	0.00982	0.00465	0.01516	1140
Cambisol-Gléyico	-	300	9.3					0.03100			0.03100	300
Castañozem-Cálcico	Tula	440	12.4	940	16			0.02818	0.01702		0.02260	690
Castañozem-Lúvico+Vertcr	Villagrán	450	11.6	1500	10.7			0.02578	0.00713		0.01646	975
Chernozem-Cálcico	Altamira	850	8.6	1150	9.1	1750	8.8	0.01012	0.00791	0.01035	0.00946	1250
Feozem-Calcarico	A. Morelos	280	9.9	490	11.3			0.03536	0.02306		0.02921	385
Feozem-Háplico	-	280	9.9					0.03536			0.03536	280
Feozem-Lúvico	-	280	9.9					0.03536			0.03536	280
Fluvisol-Calcarico	OET, Victoria(1)	1250	12.7					0.01016			0.01016	1250
Litosol	C.Castillo	300	19					0.06333			0.06333	300
Luvisol-Crómico	1Ver;2Re14	400	3.22					0.00805			0.00805	400

CONTINÚA...

Cuadro III.4.2.3-1. Datos de profundidad... CONTINÚA

Tipo de suelo	Sitio-UAT	Prf 1	AW1	Prf2	AW2	Prf3	AW3	PAWC1	PAWC2	PAWC3	PAWC	Prof_S
Luvisol-Órtico	-	400	3.22					0.00805			0.00805	400
Regosol- Calcárico	Palmillas	1150	10.8					0.00939			0.00939	1150
Regosol-Eútrico	Altamira	800	16.4	1250	14	1600	13.8	0.02050	0.01120	0.01725	0.01632	3650
Rendzina	SLM	1040	8.1					0.00779			0.00779	1040
Solonchak- Gléyico	Mezquital, Matam.	600	8.8	1600	8.8			0.01467	0.00550		0.01008	1100
Solonchak- Órtico	Altamira	1500	8.4	2400	8.5	1100	9.9	0.00560	0.00354	0.00660	0.00525	5000
Vertisol- Crómico	Llera	340	9.8	1020	10.4	1640	13.1	0.02882	0.01020	0.03853	0.02585	3000
Vertisol-Pélico	G.Farías	475	9.7	655	10.7	475	13.6	0.02042	0.01634	0.02863	0.02180	1605
Xerosol-Cálcico	Jaumave	1020	11.5	1570	14.5			0.01127	0.00924		0.01026	1295
Xerosol- Háplico	Miquihuana	1190	14.7	1940	13.1			0.01235	0.00675		0.00955	1565
Castañozem	-	440	12.4					0.02818			0.01409	440

Notas: (1), en Gómez, *et al*, 1999); prf = profundidad; AW= disponibilidad de agua en el perfil; prof_S = profundidad total del suelo (en mm).

En cuanto a la **cartografía y datos de carácter atmosférico**, en primera instancia el mapa de ETP promedio anual 1950-2000 (Trabucco y Zomer, 2009) se descargó en formato *grid* (de 888 m) para ESRI del Consorcio para la Información Espacial (CGIAR-CSI, *Consortium for Spatial Information*, <http://www.cgiar-csi.org/>), generando un *subset* de la cuenca, que posteriormente fue proyectado a UTM NAD 27 para ingresarlo al modelo (Figura III.4.2.3-3).

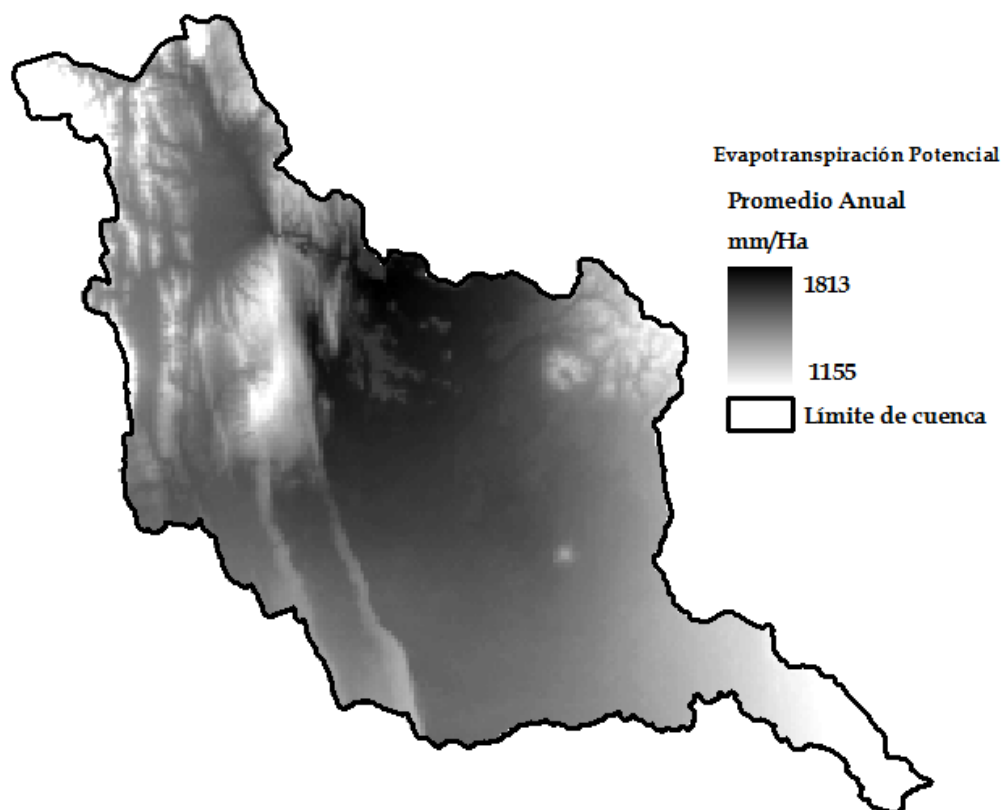


Figura III.4.2.3-3. Promedio anual de la Evapotranspiración Potencial. Fuente: <http://srtm.csi.cgiar.org/>

Este mapa es utilizado como la ET de un cultivo de referencia: bajo condiciones óptimas, con características de un pasto con buena humedad, de 12 cm de altura, una resistencia superficial fija de 70 seg/m y un albedo de 0.23 (Allen, *et al*. 1998); de

acuerdo con Allen, *et al.* (1998), este concepto fue establecido por la FAO con la aplicación de la ecuación de Penman-Monteith, y es el estándar actualmente empleado. No obstante, su desventaja es que requiere de datos altamente específicos para varios parámetros, los cuales no son monitoreados en gran parte de las estaciones meteorológicas del mundo, especialmente las de los países subdesarrollados (Droogers y Allen, 2002, EN Trabucco y Zomer, 2009). Aunque existe *software* sofisticado para modelar la provisión de agua, los requerimientos para su calibración y necesidad de datos hacen difícil su aplicación cuando la información y los conocimientos específicos de su manejo son limitados.

Por ello, Trabucco y Zomer (2009) utilizaron el modelo de Hargreaves *et al.* (1985, EN Trabucco y Zomer, 2009) para construir el referido mapa global de ETP, que arroja resultados similares al de la FAO, pero con menos parámetros; estos son *geo-datasets* promedio mensual de: temperatura promedio, rango de temperatura diaria (como indicador del efecto de la cobertura nubosa sobre la cantidad de radiación extraterrestre que alcanza la superficie del terreno) y radiación extraterrestre (como equivalente de evaporación).

Por otra parte, se generó el mapa de precipitación promedio anual, a partir de 124 estaciones climatológicas de ERIC (Extractor Rápido de Información Climatológica, de CONABIO-IMTA, 2001, en <http://www.conabio.gob.mx>) que cubren los alrededores de la cuenca, en los estados de Tamaulipas, Nuevo León, San Luis Potosí y Veracruz (Figura III.4.2.3-4).

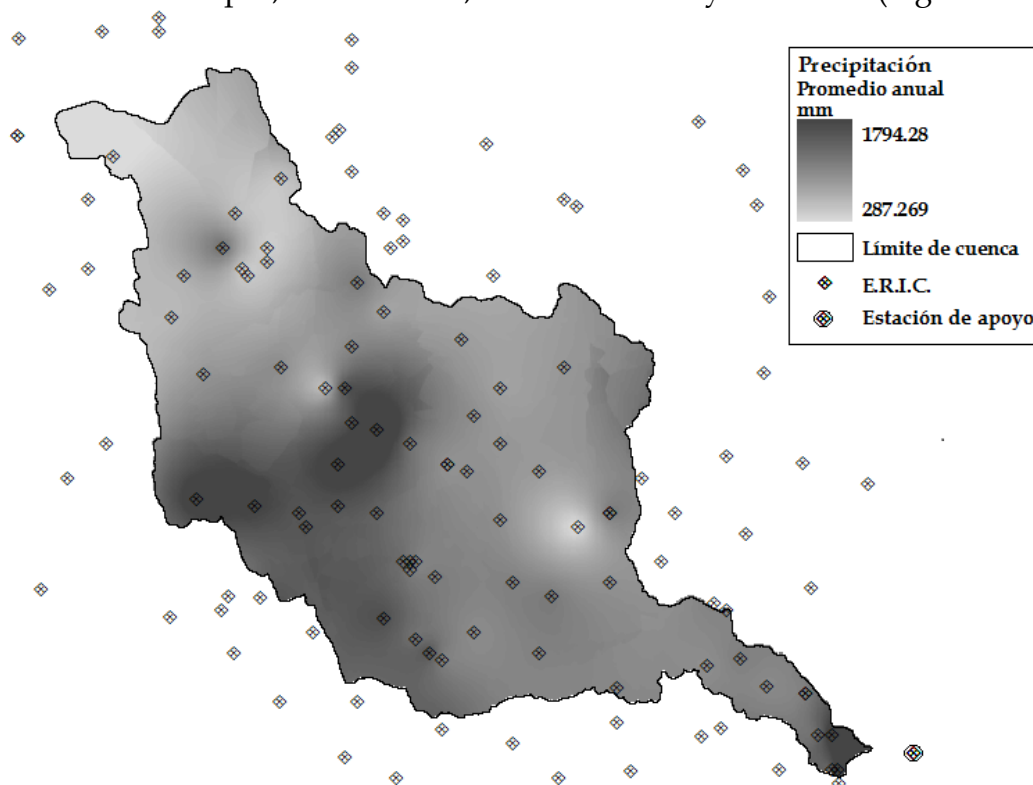


Figura III.4.2.3-4. Precipitación promedio anual. Fuente: elaboración propia con datos de IMTA-CONABIO (2001, en <http://www.conabio.gob.mx>) y el Servicio Meteorológico Nacional (<http://smn.cna.gob.mx/>).

A dichas estaciones se les asignaron los valores de las Normales Climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (<http://smn.cna.gob.mx/>), que contempla un análisis de 1970 a 2000. Para evitar el efecto de bordes en la costa, se colocó una estación ficticia para

usarse como punto de apoyo en la interpolación. Los valores de ésta y de otras estaciones que no contaban con el valor medio de precipitación fueron obtenidos del promedio de las estaciones vecinas (de 3 a 5 estaciones). Finalmente, se realizó la interpolación con el método de *Krigging* Universal, utilizando los valores “de entrada” del modelador en ArcView 3.2.

Dentro de la **Información biofísica para evaluar el mapa de LULC**, se generó la Tabla de coeficientes biofísicos para cada tipo de vegetación y uso del suelo, que se muestra en el Cuadro III.4.2.3-2, y cuyos detalles se explican a continuación del mismo.

Cuadro III.4.2.3-2. Información biofísica para calcular el modelo de retención de nutrientes a partir del LULC.

LULC	Profundidad de las raíces (mm)	Coefficiente (1000X) de Evapotranspiración (ETK)	Carga de N aportado (g/ha año)	Carga de P aportado (g/ha año)	% de filtración por pixel
PZI	260	250	3100	100	60
BPE	7000	1000	1800	11	80
BMM	7000	1000	1800	11	80
BEBPEvs	7000	1000	1800	11	60
AGTA	210	500	12500	4600	30
AGTApzi	260	500	7800	2350	60
MSM	5100	1000	100	5	80
BE	7000	1000	1800	11	80
MDR	9500	750	100	5	80
BP	7000	1000	1800	11	80
QUE	0	1	100	5	10
MZQ1	7000	750	100	5	80
MZQvs	5100	750	100	5	60
DESN	0	1	3400	100	0
URBA	0	1	53210	202080	0
BT	7000	1000	1800	11	80
SBC	3700	1000	1800	11	80
SMSC	7000	1000	1800	11	80
AGR	210	500	60000	15500	30
AGUA	0	1000	0	0	30
SAMS	7300	1000	1800	11	80
SBCvs	15000	1000	1800	11	60
PZC	260	750	3100	100	30
SBEhzch	3700	750	100	5	80
AGTP	7000	750	4800	3600	30
PALM	7000	1000	1800	11	80
RIPA	7000	1000	1800	11	80
INU	0	1	0	0	60
TUL	260	1000	1800	11	90
MAN	510	1000	1800	11	90

Fuente: elaboración propia con datos de las fuentes referidas en el texto siguiente.

Estos consistieron en:

1. Profundidad máxima de raíces, con datos aportados por [Candell \(et al., 1996\)](#);
2. Coeficiente de Evapotranspiración (ETK), sugerido por el manual INvEST ([Tallis, et al., 2010](#)), y extrapolados a los tipos de vegetación faltante, asumiendo como 100% el

ETK de los cuerpos de agua y la vegetación natural. Para ingresar este valor al análisis, es requisito multiplicarlo por 1000.

3. Carga de nutrientes aportados por cada LULC al sistema de la cuenca. En este caso, se evaluaron la retención de Fósforo y Nitrógeno, cuyos valores se obtuvieron de [Reckhow, et al. \(1980\)](#), con las consideraciones siguientes:

- Para AGTApzi se ingresó el término medio entre cultivo de soya en temporal y los pastizales.
- Para el aporte de las manchas urbanas se tomó como referencia la reportada por Much y Kemp (1978, [en Reckhow, et al. \(1980\)](#) para Appleton (Wisconsin), ya que cuenta con valores para los cuatro usos del suelo urbanos en la cuenca (comercial, de negocios, industrial y residencial). Cabe mencionar que en 1980 esta localidad contaba con una población de aproximadamente la mitad de la que habitaba el municipio de El Mante.
- Los valores para la agricultura de riego, la de frutales (AGTP), la vegetación semidesértica y los humedales se obtuvieron de [Xiao \(2007\)](#). Finalmente, los valores reportados por estos autores para las zonas semidesérticas fueron asignados para las áreas quemadas, asumiendo que los incendios no alcanzaron suficiente temperatura para cambiar las propiedades físicas del suelo.

4. Como sugiere el manual INVEST ([Tallis, et al., 2010](#)), se asignaron los mayores valores para el porcentaje de filtración por pixel a los humedales (90), la vegetación de bosque y selva primarios (80), seguidos de los secundarios y pastizal inducido (60), 30 para actividades agropecuarias, 10 para zonas quemadas y cero para mancha urbana y suelo desprovisto de vegetación.

El valor del umbral de acumulación del flujo (*Trsh_val*), se obtuvo del proceso de delimitación de Áreas de Drenaje (**AD**), usadas en la valuación socioeconómica. Representa el número de píxeles aguas arriba que debe fluir hacia el pixel anterior a ser considerado como parte de la corriente ([Tallis, et al., 2010](#)). En este caso, el *Trsh_val* retornado del proceso de delineación de **AD** fue de 13,151. Las **AD** fueron obtenidas a través del Módulo ArcHydro para ArcGis 9.2, a partir del **MDE** de un área igual a la cuenca con un buffer exterior de 1 Km. Por esta diferencia de superficies con el área de estudio, el módulo entregó un número superior de **AD**; por ello, algunas fueron fusionadas con la **AD** vecina aguas arriba cuando su superficie fue menor al 1% del área total.

Información biofísica para evaluación socioeconómica por área de drenaje.

a) Por retención de nutrientes.

La evaluación socioeconómica de este modelo se basa en los costos de reemplazo que la sociedad estaría dispuesta a pagar si existiera un costo para retirar la contaminación del agua a través de una planta de tratamiento, a falta de este servicio por parte de los ecosistemas de la cuenca. Los contaminantes considerados fueron Nitrógeno y Fósforo.

La carga crítica total permitida por año para cada nutriente se obtuvo de los valores máximos diarios permitidos por la NOM001-ECOL1996 (SEMARNAP, 1997), para N y P por tipo de uso de suelo (agrícola y urbano) y cuerpo receptor del nutriente (río, presa, humedal, protección de especies). Para cada subcuenca se sumaron las cargas de los usos de acuerdo con lo existente en cada una de ellas. En las de la cuenca alta se asignaron las cargas a ríos, mientras para la cuenca media y baja se asignaron además las de presas y humedales.

Para obtener los valores por AD, se clasificaron por subcuenca los gastos por tramo del Río Guayalejo (UAT, 2001), como se muestra en el Cuadro III.4.2.3-3. Posteriormente, los gastos de cada área de drenaje fueron asignados de forma proporcional a su superficie en la subcuenca, para obtener la carga crítica como ya se describió.

Cuadro III.4.2.3-3. Tramos por subcuenca, las áreas de drenaje que la integran y los gastos

Tramo (descripción)	Esguerrimiento por cuenca propia Mm ³ año ⁻¹	Subcuenca	No. de áreas de drenaje	Total Mm ³ año ⁻¹
A1. Río Guayalejo, desde su origen hasta la estación Hidrométrica La Encantada	438	Hasta Encantada	5	438
A2. Río Guayalejo desde la estación Hidrométrica La Encantada a estación San Gabriel	61.1	Encantada-Gabriel	5	61.1
E1. Río Comandante desde su origen hasta la estación Hidrométrica La Servilleta	238.5	Comandante	5	238.5
D. Río Sabinas desde su origen hasta la estación Hidrométrica Sabinas	511.7	Sabinas	1	511.7
E2. Río Frío desde su origen hasta la estación Hidrométrica Río Frío	941.3	Frío_Mante	1	941.3
B. Río Guayalejo desde la estación Hidrométrica San Gabriel hasta la estación Magiscatzin	498.8	Magiscatzin	4	498.8
C. Río Guayalejo desde la estación Hidrométrica Magiscatzin hasta los diques del sistema lagunario	513.4	Cuenca baja	22	901.9
F. Río Mante desde su origen hasta la estación Hidrométrica Mante	388.5			

Fuente: elaboración propia con datos de UAT, 2001.

Como las tarifas de agua potable disponibles para Tamaulipas no desglosan el costo por saneamiento, los costos anuales de remoción de los nutrientes se calcularon a partir de las tarifas de saneamiento disponibles y vigentes para 2011 de la CONAGUA (<http://www.conagua.gob.mx/Tarifas/paginas/Principal.aspx>). En esta base de datos tampoco aparecen tarifas para ciudades tamaulipecas, por lo que, como se indica en el Cuadro III.4.2.3-4, se utilizó la de Ciudad Juárez para las ciudades mayores en la cuenca baja, y la de Xalapa para las localidades en la cuenca media con poblaciones medias. El resto de las poblaciones (más pequeñas), se les asignaron los costos reportados para UDWQ (2010).

Cuadro III.4.2.3-4. Costos anuales de remoción (€/Kg) de nutrientes en tres ciudades por zonas de la cuenca.

Origen del dato	P	N	Ciudades por zona en la cuenca
Juárez (MX)	2.66	1.33	Mante, González, Tampico
Xalapa (MX)	1.88	0.94	Llera, Ocampo, Xicoténcatl
Moab City (USA)	4.33	1.65	Jaumave, Sabinas (área de drenaje del Río)
Moab City (USA)	7.72	2.06	Ocampo, Gómez Farías

Fuente: elaboración propia, basada en datos de 1) (<http://www.conagua.gob.mx/Tarifas/paginas/Principal.aspx>) y 2) UDWQ (2010)

Se asumió que las tarifas de saneamiento sólo incluyen el costo para retirar los elementos P y N en la cuenca, que cada metro cúbico la misma relación de nutriente de

la NOM001-ECOL1996 (SEMARNAT, 1997), y se estimaron de acuerdo con la relación de carga crítica total entre P y N (2:1). Para calcular el costo de remoción en el resto de la cuenca, donde las poblaciones de menos habitantes se encuentran en los sitios más inaccesibles, se asumió que: a menor accesibilidad, mayores costos; por ello, se asignaron los costos mayores reportados por UDWQ (2010) para remover N y P a las cuencas más inaccesibles, los menores a las más accesibles y valores intermedios al resto.

La constante de calibración de la carga anual de cada subcuenca, se obtuvo como porcentaje de la carga crítica anual de cada AD sobre la carga crítica total anual para el área de estudio y su *buffer*. Finalmente, el tiempo de análisis y la tasa social de descuento se asignaron de acuerdo con la evaluación socioeconómica del sistema de Saneamiento en México (Godínez, 2007). El tiempo, de acuerdo con este autor, se asignó como la vida útil de la Planta de Tratamiento (20 años), y la tasa social de descuento en México de 12%.

Toda esta información se integró para evaluar cada nutriente, y se muestra en los Cuadros III.4.2.3-5 y III.4.2.3-6. La información de respaldo y los cálculos se incluyen en el ANEXO DIGITAL 3.

Cuadro III.4.2.3-5. Tabla de valuación del servicio de remoción del nutriente Nitrógeno.

wshed	Calib	Carga crítica anual (Kg/año)	Costo de remoción (€/Kg)	wshed	Calib	Carga crítica anual (Kg/año)	Costo de remoción (€/Kg)
9	0.00019728	33,638,947.61	1.6547	51	0.00006267	10,686,812.25	1.33
21	0.00036662	62,512,806.92	1.6547	52	0.01416027	2,414,509,706.83	1.33
23	0.00002896	4,938,570.32	0.94	53	0.00052407	89,361,377.37	2.0592
26	0.04048567	6,903,330,222.34	1.6547	54	0.00296178	505,022,378.58	1.33
27	0.00001947	3,319,767.10	0.94	57	0.00106050	180,829,809.42	1.33
31	0.00003780	6,444,849.15	0.94	58	0.00408280	696,169,483.53	1.33
33	0.06001159	10,232,751,500.93	1.6547	59	0.00113995	194,375,514.11	1.33
34	0.02786730	4,751,734,590.27	0.94	60	0.00587110	1,001,097,752.76	1.33
36	0.00000052	87,841.25	1.33	66	0.00010279	17,527,733.46	1.33
37	0.00061911	105,566,023.55	1.6547	69	0.00000013	21,879.28	1.33
39	0.07700462	13,130,283,286.08	0.94	72	0.00028081	47,881,144.86	2.0592
41	0.41275266	70,379,665,000.00	2.0592	74	0.00030063	51,261,109.66	0.94
42	0.04485903	7,649,044,615.58	0.94	75	0.09310433	15,875,492,500.00	1.6547
43	0.11361476	19,372,784,693.43	0.94	76	0.00000052	88,003.32	1.33
44	0.05106669	8,707,530,410.26	2.0592	78	0.00037474	63,897,218.63	1.33
45	0.02650071	4,518,713,919.42	0.94	79	0.00000179	305,175.42	1.33
46	0.00603104	1,028,369,573.35	0.94	81	0.00182964	311,977,759.99	2.0592
47	0.00000918	1,565,583.96	1.33	82	0.00016094	27,443,098.54	1.33
48	0.00294108	501,492,521.58	1.33	99	0.00007506	12,798,567.84	1.33
49	0.00949139	1,618,405,401.21	1.33				

NOTAS: wshed = identificador de AD.; Calib= constante de calibración. Fuente: elaboración propia con referencias en el texto.

La evaluación socioeconómica de cada nutriente devuelve primero el valor presente (VP) de cada subcuenca por sus servicios de retención, de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$wp_Value_x = Cost(p) * Retained_x * \left(1 - \frac{Ann_load}{CNL}\right)$$

Donde:

Wp_Value_x = valor (en €) de retención en el pixel **x**

Cost (p) = costo anual del tratamiento (en €/Kg) para retirar el contaminante **p** (nutriente N o P)

Retained_x = carga total de **p** retenida por el pixel **x**, del promedio total de **p** que llega a ese pixel

Ann_load = carga anual máxima de **p** en la A.D. que no causa daños ni a la salud humana ni a los hábitats naturales. Representa el umbral bajo el que el servicio es invaluable

CNL = carga acumulada de **p** a la salida de la A.D. estimada por el modelador.

Posteriormente, se suman los valores del SSAA para cada nutriente y se distribuyen de acuerdo con el LULC y con los límites municipales.

Cuadro III.4.2.3-6. Tabla de valuación del servicio de remoción del nutriente Fósforo.

wshed	Calib	Carga crítica anual (Kg/año)	Costo de remoción (€/Kg)	wshed	Calib	Carga crítica anual (Kg/año)	Costo de remoción (€/Kg)
9	0.000163655	13455579	4.3298	51	0.000064990	5343406	2.6600
21	0.000304128	25005123	4.3298	52	0.014683382	1207254853	2.6600
23	0.000024026	1975428	1.8800	53	0.000434747	35744551	7.7187
26	0.039511804	3248625987	4.3298	54	0.003071198	252511189	2.6600
27	0.000040377	3319767	1.8800	57	0.001099682	90414905	2.6600
31	0.000031355	2577940	1.8800	58	0.004456445	366404991	2.6600
33	0.060082723	4939949000	4.3298	59	0.001182058	97187757	2.6600
34	0.027640390	2272568717	1.8800	60	0.006408406	526893554	2.6600
36	0.000001068	87841	2.6600	66	0.000121819	10015848	2.6600
37	0.000513584	42226409	4.3298	69	0.000000266	21879	2.6600
39	0.077901780	6405016237	1.8800	72	0.000232944	19152458	1.8800
41	0.413241927	33976390000	7.7187	74	0.000311735	25630555	1.8800
42	0.044912205	3692642228	1.8800	75	0.090864746	7470820000	4.3298
43	0.113749431	9352378818	1.8800	76	0.000001070	88003	2.6600
44	0.051661651	4247575810	7.7187	78	0.000388579	31948609	2.6600
45	0.025863248	2126453609	1.8800	79	0.000003712	305175	2.6600
46	0.005885962	483938623	1.8800	82	0.001897234	155988880	7.7187
47	0.000009521	782792	2.6600	84	0.00019073142	15681771	2.6600
48	0.003049732	250746261	2.6600	99	0.00015566412	12798568	2.6600
49	0.009842025	809202701	2.6600				

NOTAS: wshed = identificador de A.D.; Calib= constante de calibración. Fuente: elaboración propia con referencias en el texto.

b) Por el aporte de agua.

Para evaluar el servicio de **aporte de agua**, se analizó con el método de Costos de Reemplazo de la oferta de agua dada por el *grid* “*Wyield*” (en mm), que es un producto intermedio del proceso del modelo de retención de nutrientes. En este caso, se buscó cuánto costaría sustituir la producción natural de agua de un sitio, para otorgar a sus habitantes una cantidad de agua equivalente a la que utilizan en la actualidad. No se evaluaron otros costos de reemplazo para otros usos del agua, como el industrial o el agropecuario.

El valor social del aporte agua es la multiplicación del agua producida en cada pixel (oferta de agua- $\text{m}^3/\text{año}$) por el precio indexado de llevar el recurso en tanques cisterna a la subcuenca donde se ubica dicho pixel, que representa el costo de reemplazar toda el agua disponible sólo para el consumo doméstico (Figura III.4.2.3-5).

Para obtener el valor de la producción de agua en cada pixel de la cuenca, se obtiene primero la demanda de agua, dada por el gasto promedio anual *per cápita* en México, que es de $4,082 \text{ m}^3/\text{hab}^{-1}\text{año}$, multiplicada por los habitantes de la subcuenca. Esto es lo que esa subcuenca debe producir de agua como mínimo para satisfacer los requerimientos de la sociedad que sostiene.

Como consecuencia de la sequía, en México existen sitios donde la única forma para la población de obtener agua es a través de camiones cisterna llevados por las **COMAPAs** de los municipios afectados. Este servicio tiene una tarifa para los habitantes, a los que el agua les es *vendida* a un precio que integra el costo del traslado, pero no el de provisión ni de potabilización del recurso; a esto se refiere Montelongo (2012, en prensa:

<http://www.gaceta.mx/noticiasnews.aspx?idnota=41574>),

cuando afirma que el servicio que se les cobra a los habitantes de las periferias de Ciudad

Victoria (capital de Tamaulipas) es una cuota de recuperación del costo de renta de los camiones cisterna. Por su parte, Rivera (2012, en prensa:

http://www.excelsior.com.mx/index.php?m=nota&id_nota=768474&rss=1)

reporta que, a pesar de que el Código Fiscal de la Ciudad de México contempla una tarifa de 726.2 pesos por un camión cisterna de mil litros (poco más de 42€), en algunos sitios las empresas (privadas) concesionarias del servicio llegan a cobrar hasta 3,500 pesos (202.54 €) por camión.



Figura III.4.3.3-5. Acarreo de agua para uso doméstico no potable hacia las poblaciones del sur de Ciudad Mante, con problemas de abatecimiento (diciembre de 2004).

Esos datos fueron tomados como indicador de la **WTP** de la sociedad para obtener el servicio de provisión de agua (que el ecosistema ofrece como SSAA de aporte de agua), cuando no se tiene acceso al recurso. En Ciudad Victoria, este valor es de 22.5 pesos (1.3€) por metro cúbico de agua, donde el traslado no supera los límites municipales (el costo depende del combustible usado por la distancia recorrida en una zona plana). En la Ciudad de México, este precio (oficial) es de 72.6 pesos (4.2€), ya que los costos de los camiones son mucho mayores (el consumo aumenta por la distancia, las pendientes y las condiciones de tráfico denso en la metrópoli).

Para trasladar este valor a las zonas de la cuenca, se construyó un indicador por subcuenca llamado “índice de accesibilidad relativo” (Cuadro III.4.2.3-7), que depende de la densidad de caminos de acceso en cada cuenca, el porcentaje de su territorio con pendientes mayores a 15% (que aumentaría el consumo de combustible) y la distancia en línea recta de la localidad más alejada al sitio de recarga de la cisterna (planta potabilizadora más cercana, Figura III.4.2.3-6). La cuenca con valores más altos, tendrá el mayor coste para otorgar agua a sus habitantes, por lo que el índice es de 1, y el valor social del agua en ese sitio será igual al precio oficial por metro cúbico en la Ciudad de

México. Por el contrario, Madero fue considerada como la subcuenca con mayor índice de accesibilidad, por lo que el valor en este sitio es el mismo que en la capital del estado. Al resto de las subcuencas se les da valores intermedios de acuerdo con el índice obtenido (usado como porcentaje del precio más alto).

Cuadro III.4.2.3-7. Índice de accesibilidad relativo, usado para estimar el valor (en Euros) de llevar un metro cúbico de agua a cada subcuenca evaluada.

Nombre	sup	KmCrr	IndxCrr	%>15	IndxPn	Pobl-O	Pob-D	dist	IndxDst	Prm	InxAcc	Valor
Encantada	157,656	375.55	0.0733	0.4964	0.2754	Jaumave	Marcela	108.0	0.1127	0.1538	1	4.26
Encantada	136,992	558.61	0.1255	0.4322	0.2398	Jaumave	S.Vicente	49.8	0.0520	0.1391	0.904	3.853
Sabinas	115,295	447.55	0.1195	0.1485	0.0824	Xico	Mojado	19.0	0.0198	0.0739	0.480	2.047
Magiscatzin	63,063	229.06	0.1118	0.0560	0.0311	González	Acuña	52.5	0.0548	0.0659	0.428	1.825
Frio_Mante	121,903	1092.42	0.2759	0.0773	0.0429	Mante	Vergel	19.1	0.0199	0.1129	0.734	3.127
Magiscatzin	51,939	234.71	0.1391	0.0188	0.0104	Xico	A.mina.	67.3	0.0702	0.0733	0.476	2.029
Comandante	1'72,723	586.55	0.1046	0.2788	0.1547	Ocampo	San Rafa	83.4	0.0870	0.1154	0.750	3.196
Comandante	54,912	230.60	0.1293	0.0424	0.0235	A-mor	Retiro	16.4	0.0171	0.0566	0.368	1.569
Magiscatzin	11,912	57.27	0.1480	0.0000	0.0000	Graciano	Higuerón	57.5	0.0600	0.0693	0.451	1.920
cuenca baja	18,596	51.32	0.0850	0.0000	0.0000	Graciano	N. Tantoán	36.8	0.0384	0.0411	0.267	1.139
cuenca baja	45,216	182.65	0.1244	0.0000	0.0000	Cuauh.	S.Felipe	57.5	0.0600	0.0615	0.400	1.702
cuenca baja	19,989	90.89	0.1400	0.0272	0.0151	A-mor	Reforma	57.3	0.0598	0.0716	0.466	1.983
cuenca baja	65,021	454.44	0.2152	0.0005	0.0003	Altamira	C.Palmas	64.4	0.0672	0.0942	0.613	2.609
cuenca baja	83,216	488.48	0.1807	0.0000	0.0000	González	S. María	66.2	0.0691	0.0833	0.541	2.306
cuenca baja	25,786	169.46	0.2023	0.0048	0.0027	Graciano	S. Bárbara	23.9	0.0249	0.0767	0.498	2.123
Magiscatzin	52,343	513.86	0.3023	0.0000	0.0000	Graciano	Capulín	30.4	0.0317	0.1113	0.724	3.083
Gabriel	173,504	673.89	0.1196	0.1799	0.0998	Llera	Guadalupe	65.8	0.0686	0.0960	0.624	2.659
cuenca baja	82,767	433.81	0.1614	0.0029	0.0016	Graciano	P.Ayala	35.5	0.0370	0.0667	0.433	1.847
cuenca baja	51,937	408.23	0.2420	0.0365	0.0202	Graciano	Dorados	47.8	0.0499	0.1040	0.676	2.881
Madero			0		0			0	0	0	0	1.3

NOTAS: sup= superficie de subcuenca, en Ha; KmCrr= Kilómetros de carreteras de terracería y pavimentadas; IndxCrr= índice relativo de carreteras; %>15= % de superficie de cuenca con pendientes mayores a 15%; IndxPn= índice relativo de pendientes; Pobl-O= población origen de carga de cisternas; Pob-D= población más lejana desde Pobl-O; IndxDst= índice relativo de distancia; Prm=promedio de los índices; InxAcc= índice relativo de accesibilidad; Valor= valor del metro cúbico (Euros).

Por otro lado, el valor socioeconómico por hectárea ponderado con el índice de accesibilidad fue multiplicado por el agua disponible para uso doméstico del *grid* de aporte de agua. Para ello, en primera instancia se ajustó el *grid* por un factor de 0.8972, que representa la diferencia entre los volúmenes de disponibilidad dados por la CONAGUA (2011a) y el valor teórico obtenido por el *grid*. Este mismo organismo refiere que, en México el abastecimiento público utiliza el 4.3% del agua de origen superficial, el cual incluye el uso público urbano y el doméstico; por ello, esa fracción es obtenida del *grid* ajustado. Posteriormente se extrae la fracción dedicada al uso doméstico en la cuenca, que es de 32.93%, de acuerdo con lo reportado por Adame (2010), sin distinguir el origen superficial o subterráneo. Finalmente, se excluyeron de la valuación socioeconómica los píxeles con altos valores de aporte de agua, que el modelo otorga en periodo anual a las áreas urbanas y zonas quemadas.

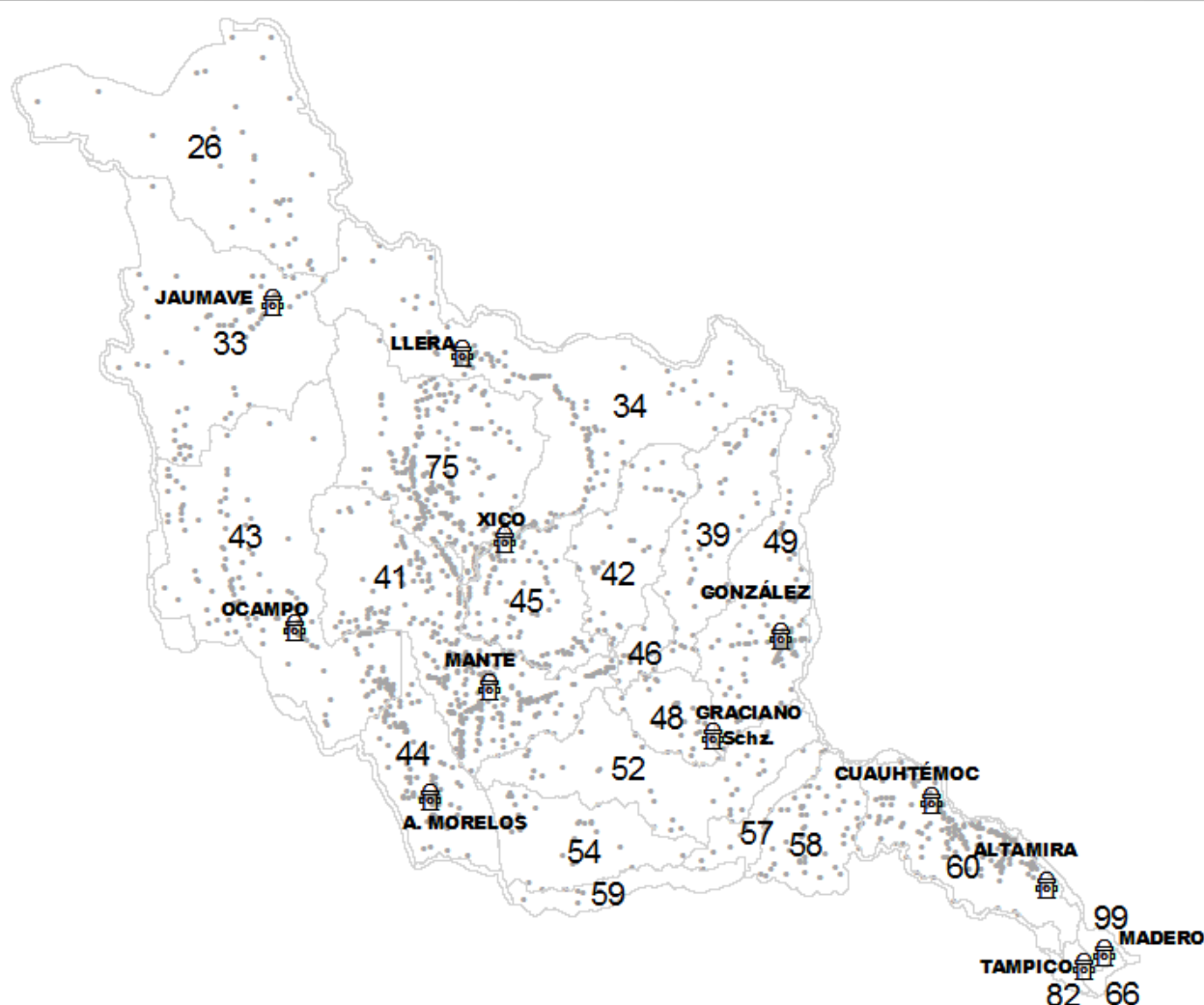


Figura III.4.2.3-6. Distribución de las localidades (puntos grises) en cada Subcuenca (numerada) y las plantas potabilizadoras del área de estudio.

III.4.2.4. Belleza escénica (paisajística): contribución a la economía local por factibilidad para actividades turísticas y recreativas.

Fundamentos del modelo

Los argumentos estéticos de los ecosistemas son concebidos como valores antrópicos de los elementos paisajísticos; [TCA y SNH \(2002\)](#) lo manifiestan claramente al afirmar que la percepción de la gente transforma un terreno en paisaje, ya que es el “escenario” donde se desarrollan sus vidas y que les puede proporcionar un “sentido de pertenencia” a ese entorno.

[Chan et al. \(2011\)](#) por su parte, sostienen que el mantenimiento de los valores culturales en las sociedades del mundo necesita del “uso activo de recursos biológicos e interacción inmaterial con sitios importantes, entre otros usos directos e indirectos”. De esta forma, los servicios prestados por un paisaje son “co-producidos” por el ecosistema y las personas, más allá del sentido antropocéntrico de otros servicios. Por lo tanto, el valor que la gente otorga a un paisaje se relaciona con experiencias (Figura III.4.2.4-1), más que con los beneficios tangibles que obtiene de otros SSAA (como la provisión de agua o aire limpio).

En consecuencia, el análisis de los valores paisajísticos a través de una perspectiva geográfica, debe incluir los componentes naturales y culturales, así como la interacción entre ellos que surge a través de la percepción humana. A partir de esta premisa, [TCA y SNH \(2002\)](#) utilizaron tres determinantes geográficos (físicos, biológicos y culturales) para establecer la condición (tipología/carácter) del paisaje en Escocia e Inglaterra: fisiografía (como datos geomorfológicos), tipo (y cobertura) de suelo y patrones culturales (uso del suelo actual e histórico, información común del terreno). [Nogué y Sala \(2006\)](#) coinciden con esta metodología, considerando además de esa información estructural, la parte dinámica de los elementos sociales, económicos y culturales que dan identidad a las personas que habitan el territorio en cuestión.

Una aplicación práctica de estas ideas fue la utilizada por la [Junta de Andalucía \(2003\)](#) en seis comarcas rurales de su territorio para estimar su capacidad para actividades de turismo rural. Se basó en un análisis de la oferta, que incluyó el estudio del medio físico como receptor de la actividad, el equipamiento turístico y el medio socioeconómico. Como factores biofísicos incluyeron, entre otros, el clima, la litología, riesgos erosivos y la vegetación actual. En la información del equipamiento incluyeron la red de comunicaciones, el abastecimiento de agua, tratamiento de residuos (sólidos y líquidos), así como los elementos (naturales e histórico-artísticos) de interés para el turismo. Del medio socioeconómico, incluyeron la población, el mercado de trabajo, la renta y los indicadores de bienestar.



Figura III.4.3.4-1. Percepción del paisaje y su disfrute como aportación al turismo que busca la naturaleza.

Finalmente, [Adamowicz, et al. \(2011\)](#), presentan un método que otorga una valoración socioeconómica a los atributos paisajísticos de un ecosistema. Para ello, determinan las correlaciones espaciales entre el uso recreativo/turístico y los atributos ambientales a partir de los sitios con oportunidades turísticas, los datos de sus visitantes, elementos paisajísticos, infraestructura (incluyendo accesos) y sitios urbanos.

Construcción del modelo biofísico

Se realizó una adaptación para la cuenca de los modelos de la [Junta de Andalucía \(2003\)](#) y [Adamowicz, et al. \(2011\)](#), teniendo como referencia las características de la sociedad andaluza respecto a su demanda/oferta de turismo rural, que en el contexto de este estudio, es equivalente a “ecoturismo” ya que es el tipo de turismo con más demanda en la cuenca; y tomando en cuenta las discrepancias entre preferencias y capacidades turísticas en el territorio andaluz y el área de estudio.

Es necesario señalar que, aunque tradicionalmente se hace una diferencia entre la actividad turística (donde los turistas trasnochan en el sitio) de la recreativa (donde no trasnochan), para este trabajo se sigue la sugerencia de [Adamowicz, et al. \(2011\)](#) respecto a considerar ambas como sinónimos; esto con el objetivo de simplificar los análisis; a este respecto [Guerrero \(2010\)](#) señala que no existe consenso en la definición de “ecoturismo”, por lo que se presentan problemas a la hora de su estudio y manejo.

Como primer factor se consideraron las diferencias laborales y familiares, debido a que en Andalucía los trabajadores tienen jornadas de 35 horas semanales ([Junta de Andalucía, 2003](#)), con sueldos 5.92 veces mayores que los tamaulipecos, así como familias menos numerosas; estos factores, en conjunto, les permiten una mayor capacidad económica y un tiempo más prolongado disponible para el ocio.

Un segundo factor es el comportamiento de la oferta/demanda turística, que en la cuenca busca sitios de carácter recreativo (lo que implica no trasnochar en el sitio), donde los costos para el visitante se reducen al transporte (casi todo en coche particular) y la compra de alimentos y bebidas (tanto de supermercado como consumo en pequeños restaurantes o vendedores ambulantes); por ello, la infraestructura hotelera se restringe a las cabeceras municipales, así como a algunas cabañas en las ANP de **El Cielo** y Peña Nevada o sus alrededores. Por su parte, el turismo rural andaluz se dirige a visitantes con poder adquisitivo medio/alto, y como opción alternativa al turismo de masas (que en esa región demanda principalmente playa y sol), convirtiéndose en una industria de gran importancia como generador de riqueza y desarrollo en las zonas montañosas del interior ([Junta de Andalucía, 2003](#)).

El tercer factor a considerar es que, a diferencia de los sitios de turismo rural andaluz, en el área de estudio no se cuenta con datos estadísticos en cuanto a las características de los visitantes. Excepción hecha en **El Cielo**, por el recientemente abierto Centro de Interpretación, así como algunos estudios de Ecoturismo ([Guerrero, 2010](#); [Medellín, 2005](#); [Walker, 1995 y 1997](#)).

Para evaluar estos factores en la cuenca, se partió de las preferencias y la disponibilidad a pagar manifestadas en una encuesta aplicada a personas residentes o conocedoras del área de estudio.

Preparación de los insumos del modelo

a) Obtención de valores de percepción paisajística

Se aplicó una encuesta anónima a 140 personas conocedoras de la cuenca (ANEXO DIGITAL 3), mostrándoles un mapa con los municipios que incluye, con la finalidad de identificar los sitios que les resultan más carismáticos, así como sus motivos (valores) considerarlos como tal. Además, expresaron el precio que están dispuestos a pagar por ingresar a un sitio recreativo bien conservado y con buenos servicios, así como el tiempo máximo que están dispuestos a usar para desplazarse a un sitio de su agrado en la cuenca. Finalmente, se obtuvieron sus preferencias acerca de parámetros biofísicos de un paisaje (preguntando acerca de las características físicas que les resultan idóneas para comprar un terreno), además del valor monetario que pagarían tanto por un

terreno con los parámetros mejor y peor valorados, así como el porcentaje del valor que disminuye para ellos si el terreno careciera o perdiera algunos elementos del paisaje.

La encuesta fue aplicada primero vía internet, a través de la plataforma Google Docs®. Además, se aplicó durante los meses de noviembre y diciembre de 2010 a jóvenes estudiantes de bachillerato y universitarios, así como a diferentes habitantes de Ciudad Mante. En el mes de mayo de 2011, la encuesta fue aplicada en Cd. Victoria a un grupo de tesis de maestría y doctorado, así como algunos investigadores y personal de apoyo del Instituto de Ecología Aplicada de la UAT.

Es necesario mencionar que se intentó contar con una muestra que incluyera habitantes de todos los municipios de la cuenca. Sin embargo, por las condiciones de inseguridad que se han presentado en los últimos años en Tamaulipas, no fue posible aplicar encuestas presenciales en el Altiplano ni en las zonas montañosas; no obstante, algunas personas respondientes son originarios de algunos municipios de dichas zonas, como Gómez Farías, González, Llera, Palmillas, Xicoténcatl y Antigua Morelos. Ahora bien, poco más del 90% conoce la cuenca personalmente, ya sea como visitante o residente.

Por otra parte, usando la red social Facebook™, se presentó una imagen de **El Cielo**, con elementos paisajísticos de agua y vegetación abundante (mostrada para su análisis en el Capítulo IV.2.5), solicitando literalmente:

“SI ESTE PAISAJE (de El Cielo, Tamps) te resulta agradable, menciona una o más PALABRAS SUELTAS que te inspira y/o que sientes al verlo”.

Esto con la finalidad de complementar la encuesta aplicada, ya que por el formato de la misma, no se recabó información acerca de las experiencias sensoriales que les inspiran los paisajes casrismáticos. En cuanto a información sobre un paraje degradado, no fue necesario recopilar datos sobre éste, pues el modelo toma los valores más altos y los degrada según los elementos de los mapas.

b) Modelo biofísico: vocación para ecoturismo

Atributos ambientales: ecosistemas carismáticos de la encuesta. Se dividieron en grandes grupos las clases del LULC (comunidades vegetales y el uso de suelo diferentes al urbano), y se pidió en la encuesta que señalaran con un 5 el de su mayor preferencia y con 1 el de menor valor. Se sumaron los valores obtenidos para obtener un porcentaje y dar rangos de valor de 1 a 100 (correspondientes a los %, y eliminando el cero para evitar errores en módulo *MapCalculator* de ArcView 3.2) en el mapa. El Cuadro III.4.2.4-1 muestra los LULC agrupados en los grandes tipos de ecosistemas evaluados y los valores obtenidos de la encuesta.

Cuadro III.4.2.4-1. Valores de los ecosistemas, obtenidos en la encuesta.

Ecosistema	Valor en Encuesta	%	1- y % acumulado	Rangos	Valor mapa	LULC
Bosque	4.5	0.304	0.696	0.7 a 1	70	BE, BEBPEvs, BMM, BPE, BP, BT, AGUA
Selva	4.1	0.277	0.418	0.42 a 0.69	45	SBC, SBCvs, SMSC, SAMS, RIPA, PALM, INU, MAN, TUL
Xerófilo	2.5	0.168	0.250	0.25 a 0.41	26	MDR, MSM, MZQ, MZQvs, SBEhzh
Agropecuario	2.0	0.132	0.118	0.12 a 0.24	12	AGR, AGTA, AGTP, PZC, URB
Pastizales	1.8	0.120	-0.002	0 a 0.12	1	PZI, AGTApzi, QUE, DESN
TOTAL	14.9					

Fuente: elaboración propia

Atributos ambientales: clima. Según la [Junta de Andalucía \(2003\)](#), es el atributo ambiental que más influencia ejerce sobre el comportamiento de la oferta/demanda turística; simplemente porque la industria turística en su territorio se encuentra vinculada directamente con el “binomio sol-playa”, a pesar de ser una región con una notable diversidad climática. Además del mapa de climas, dicha institución elaboró un “índice climático” para evaluar la “confortabilidad del clima”, con base en aspectos climáticos de mayor interés para los turistas: insolación (en horas de sol totales), temperatura media y precipitación (en número de días con lluvia).

La adaptación del método al área de estudio, se basó en las preferencias manifestadas en la encuesta acerca de los climas existentes en sitios conocidos de la cuenca, equivalentes sólo a la combinación humedad-temperatura, ya que, en sitios diferentes de playa, la insolación no suele ser un factor para los visitantes. De forma similar a los ecosistemas carismáticos, se les pidió a los encuestados que dieran valores entre 1 y 5 para los climas de su preferencia, existentes en cinco sitios de la cuenca. Estos valores se observan en el Cuadro III.4.2.4-2.

Cuadro III.4.2.4-2. Valores de los sitios y sus climas obtenidos en la encuesta.

Clima	Valor en Encuesta	%	1- y % acumulado	Rangos	Valor mapa	Sitio de ejemplo
Templado- húmedo	4.21	0.279	0.721	0.72 a 1	72	Gómez Farías
Cálido húmedo	3.52	0.233	0.487	0.49 a 0.71	49	Llera
Templado (frío)	2.75	0.183	0.304	0.3 a 0.48	30	Miquihuana
Templado-seco	2.57	0.171	0.134	0.13 a 0.29	13	Temporalera
Cálido- seco	2.01	0.133	0.000	0 a 0.12	1	Tula

Fuente: elaboración propia

Atributos ambientales: pendiente del terreno. [Adamowicz, et al. \(2011\)](#) mencionan que las diferencias de elevación del terreno con pendientes pronunciadas, otorgan sitios con visión paisajística y que son atractivos para el excursionismo. Para evaluarlos en la cuenca, se obtuvieron los valores de las geoformas principales partir de las preferencias manifestadas en la cuenca. Los rangos de las pendientes se tomaron del histograma generado en forma automática por ArcView 3.2 a partir del mapa de pendientes (Cuadro III.4.2.4-3).

Cuadro III.4.2.4-3. Valores de los tipos de geoformas y pendientes obtenidos en la encuesta.

Geoforma	Valor en Encuesta	%	1- y % acum	Rangos	Valor mapa	Pendiente
Pendiente panorámica	4.34	0.292	0.708	0.71 a 1	100	≥ 27.097
Valle	3.29	0.221	0.487	0.49 a 0.7	80	20.073-27.097
Pendiente no panorámica	2.54	0.171	0.316	0.32 a 0.48	60	13.382-20.072
Lomerío	2.37	0.160	0.156	0.16 a 0.31	40	6.692-13.381
Terreno plano	2.32	0.156	-0.00001	0 a 0.16	20	0-6.691

Fuente: elaboración propia

Atributos ambientales: cuerpos de agua y afluentes. Los cuerpos de agua con buena calidad pueden atraer visitantes que gusten de actividades acuáticas ([Adamowicz et al. \(2011\)](#)). En la cuenca, esto es verdad para prácticamente todos los afluentes y cuerpos de agua. En las únicas lagunas naturales de la cuenca, conformadas por el sistema lagunar

del Tamesí, se desarrolla gran variedad de actividades como pesca deportiva (con eventos de gran tradición en la ciudad de Tampico), esquí, *wakeboard*, así como paseos en lancha para observación de especies faunísticas como aves y nutrias (<http://www.asiestampico.com.mx>). En las presas las actividades principales son las relacionadas con la pesca deportiva, mientras que los ríos y canales son utilizados por los habitantes como sitios de baño, esparcimiento y pesca artesanal de autoconsumo. Para representar este atributo ambiental en el mapa *grid*, se estableció un *buffer* de 500m alrededor de las presas y lagunas; mientras que los afluentes (incluyendo corrientes superficiales perennes e intermitentes, canales y acueductos superficiales) fueron transformados a *grid* con celdas de 500 m, para después sumar ambos mapas.

Sitios con oportunidades turísticas: Senderos y sitios ecoturísticos. Como se mencionó en la construcción del modelo de Calidad del Hábitat (sección IV.4.2.1), en el sur de Tamaulipas no existe un inventario geográfico de los sitios y rutas usados para actividades de campo; esto con excepción de **El Cielo**, que identifica dentro de su superficie once sitios y senderos publicados en el portal de su Centro Interpretativo Ecológico (CIE), así como cinco rutas ciclistas (<http://viveelcielo.tamaulipas.gob.mx/senderos/>). Estos fueron obtenidos del mapa de vías de comunicación de INEGI (cortesía de UAT, 2001), digitalizando los tramos faltantes, y creándoles un *buffer* de 500 m. Además, se utilizó para este modelo el inventario geográfico de sitios fotografiados y compartidos a través de GoogleEarth™, al que se refiere en la mencionada sección, pero con la diferencia de que, para ingresarlo a esta otra evaluación, se generó un *buffer* de 2 Km que se convirtió a *grid*.

Este inventario fue complementado con una digitalización de los lugares mencionados como “valiosos” en la encuesta que no aparecieran con referencia fotográfica, incluyendo los sitios y senderos del CIE, así como los mencionados en el portal Turistam (<http://www.janambre.com.mx/Turistam/>) y de Turismo de Tamaulipas (<http://www.turismotamaulipas.com>). A este *grid* se le dio un valor en el mapa de 85, ya que son los sitios que tienen un cierto número de visitantes, pero en su mayor parte son o se accesan a través de senderos, por lo que no se le dio el valor más alto.

Infraestructura urbana/turística. Adamowicz, *et al.* (2011) sugieren que tanto las áreas urbanas y la infraestructura de transporte se utilicen para calcular distancias y tiempos de viaje hacia los sitios turísticos. Para el caso de las primeras, en este trabajo sólo se evaluó la distancia a través de un *buffer* de 500 m sobre las manchas urbanas (polígonos) y las localidades rurales (puntos). Esto porque, como ya se comentó, la infraestructura turística (hoteles y restaurantes) sólo está disponible en las principales cabeceras municipales, y no está relacionada con la demanda del turismo de naturaleza; la excepción es el Puerto de Tampico, que cuenta con turismo de playa y de pesca deportiva, pero la playa no es parte de la zona de estudio, mientras que las zonas de pesca deportiva y su infraestructura quedan comprendidas dentro de los *buffers* asignados a la zona metropolitana del Puerto.

Por lo tanto, el *buffer* se toma como el equivalente a la infraestructura “turística”, debido a que, además de las ciudades, en los poblados el turismo puede encontrar alimentos y bebidas, servicios (mecánicos, teléfono, farmacia, etc.) así como alojamiento en casas particulares. El valor en el mapa para esta infraestructura fue de 50, siguiendo

la idea de que estos servicios son provistos tanto por el sistema humano como por el ecosistema.

Infraestructura de transporte: accesos, por rangos de preferencia en encuestas: brechas y veredas (pixel de 1 Km), con 12 y 26 % de peso; terracería (pixel 3 Km), 45%; pavimentada (pixel 5 Km), 70%. Cuadro III.4.2.4-4.

Cuadro III.4.2.4-4. Valores obtenidos en la encuesta para los tipos de acceso y su tamaño de celda.

Acceso	Valor en Encuesta	%	1- y % acum	Rangos	Valor mapa	Tamaño de celda (Km)
Carretera pavimentada	4.47	0.300	0.700	0.7 a 1	70	5
Carretera de terracería	3.68	0.247	0.453	0.45 a 0.69	45	3
Brechas	2.93	0.197	0.256	0.26 a 0.44	26	1
Veredas	2.09	0.140	0.115	0.12 a 0.25	12	1
Sin accesos	1.71	0.115	0.000	0 a 0.11	1	-

Fuente: elaboración propia

Posteriormente, se ponderaron los valores de cada mapa de acuerdo con los del porcentaje de pérdida de valor de un terreno manifestado en la encuesta. Las ponderaciones de cada atributo se observan en el Cuadro III.4.2.4-5.

Cuadro III.4.2.4-5. Ponderación de cada atributo dado a cada *grid* en el cálculo del modelo.

Ponderación	Atributo	Nombre de <i>grid</i>	Notas
1	Sitios turísticos	sitiosT	
1	Infraestructura urbana	pueblos	Valor original de 0.5122, que se le dio directamente como valor del mapa
0.6836	Afluentes	Aflus500m	
0.6836	Cuerpos de agua	Bfr500lake	
0.6757	Accesos- pavimentada	Pav5k70	
0.6757	Accesos- terracería	Terra3k45	
0.6757	Accesos- brecha/vereda	Bryver1k	
0.5891	Clima	Clima	Sustituyó al atributo suelo.
0.5560	Panorama- pendiente	Penval	
0.5397	LULC	lulc12	

Fuente: elaboración propia

Ecuación de cálculo del modelo biofísico:

$$\text{Paísa}_t = ([\text{Aflus500m} \cdot \text{Valor}] * 0.6836) + ([\text{Bfr500lake} \cdot \text{valor}] * 0.6836) + ([\text{Clima}] * 0.58905) + ([\text{Penval}] * 0.556) + ([\text{lulc12} \cdot \text{valora}] * 0.5397) + [\text{sitiosT}] + ([\text{Terra3k45}] * 0.6757) + ([\text{Pav5k70}] * 0.6757) + ([\text{Bryver1k}] * 0.6757) + [\text{pueblos}]$$

Finalmente, los totales del mapa así obtenido fueron convertidos a porcentaje, para obtener el valor relativo a la vocación turística del territorio de la Cuenca.

Evaluación socioeconómica del modelo

Se parte de la premisa de que el paisaje con mayor vocación para las actividades turísticas en la naturaleza 1) tendrá el mayor valor socioeconómico de un terreno con características paisajísticas; 2) dará empleos rurales, evitando subsidios con un valor mínimo de parte del salario que el gobierno debería aportar si la población económicamente activa (**PEA**) de los poblados rurales no tuviera otra forma de trabajo;

y 3) la gente tendrá una mayor disponibilidad a pagar (**WTP**) para ingresar a sitios bien conservados, por un adecuado mantenimiento e infraestructura recreativa.

Para determinar cada elemento de valuación, se asume que cada pixel tiene un % del valor socioeconómico de cada elemento. Por ello, en primera instancia el mapa de salida se transformó a porcentaje, dividiéndolo entre su mayor valor.

Estratificación del valor hedónico del terreno por su condición paisajística. Los datos de la encuesta muestran que la población está dispuesta a pagar (una **WTP**) 10 veces más por un terreno con altos valores paisajísticos (terreno A) que uno que no los tenga (terreno B); este es el valor hedónico, el cual no tiene una base objetiva, ya que lo que está valorando es lo que da placer a quien lo percibe. Esta diferencia se obtuvo de la moda de la relación entre los precios del terreno A y el B, ya que los valores máximos y mínimos fueron muy dispares (Cuadro III.4.2.4-6), lo que coincide con Grêt-Regamey *et al.* (2008), quienes afirman que esto suele suceder al aplicar preguntas abiertas en este tipo de valuaciones paisajísticas. El valor obtenido en el presente estudio es indicativo de la medida de satisfacción que las personas obtienen al disfrutar de un paisaje que consideran estético, y que por lo tanto tiene un mejor atractivo para las actividades turísticas de naturaleza.

Cuadro III.4.2.4-6. WTP por una hectárea de terreno según sus características paisajísticas (€/Ha)

Condición paisajística del Terreno	Máximo	Promedio	Mínimo
Mejor (terreno A)	57,868.70	5,572.54	115.74
Peor (terreno B)	28,934.35	806.87	5.79

Para llevar el valor al modelo, el *grid* biofísico se dividió en diez categorías (valores del 1 al 10) que representan la diferencia de **WTP**. Este mapa, se multiplicó por 806.87€ para así asignar a la más baja el precio promedio del terreno B y a la más alta (terreno A) ese precio multiplicado por diez.

Valor socioeconómico del empleo rural. No existen datos oficiales específicos del número y características de los empleos generados por las actividades turísticas y recreativas vinculadas a la naturaleza del sur de Tamaulipas; GM y BM (2005) coinciden con esto al mencionar la tendencia de las “estadísticas oficiales” a subestimar la importancia del llamado “ecoturismo”. Ceballos-Lascuarín (1992, EN Guerrero, 2010) definen a la actividad ecoturística como aquella que implica el uso con características sustentables de la naturaleza, y que además viene acompañado por beneficios sociales y económicos para la población local. En Tamaulipas, la información turística (en general) más publicada es acerca de su oferta (infraestructura y capacidades) y demanda (visitantes y sus características); por ejemplo, el anuario estadístico del INEGI (2011) ofrece datos de capacidad hotelera, % de ocupación, visitantes a sitios administrados por el INAH, y financiamiento al sector.

La SEDET (2012, en prensa: <http://www.hoytamaulipas.net/notas/56397/Dejan-turistas-en-Tamaulipas-mas-de-897-mdp.html>) no da cifras de empleos generados en el sector, pero menciona que sólo para el periodo de Semana Santa (dos semanas) casi se duplicó la afluencia del “turismo rural” de 2011 a 2012 (82%, pasando de 168,224 a 306,211 visitantes), sin especificar qué actividades o sitios recibieron a ese tipo de turismo. Lacaille (2012, en prensa: <http://eldiariodevictoria.com.mx/2012/04/26/recibe-el-cielo-a-mas-de-14-mil-visitantes>), titular del CIE, confirma la tendencia

mencionada por SEDET, en cuanto a que los visitantes aumentaron más del 70%, recibiendo el total de **El Cielo** entre 11 y 14 mil en el mismo periodo (933 promedio al día), mientras que en el **CIE** (donde sí hay un control de visitas) recibió 1,500 (100 diarios en promedio).

El portal de SEDET directamente no ofrece datos de este tipo de turismo, que separa del de “sol y playa”, el cual acapara el 80% de los visitantes al estado (González, titular de SEDET, 2011, en prensa: <http://info7.mx/a/noticia/325026>), pero cita la página comercial <http://www.turismotamaulipas.com/turismo-de-naturaleza/turismo-rural-y-alternativo>, donde lo incluye junto con “turismo alternativo” dentro del apartado “turismo de naturaleza”, y lo describe como una actividad que “combina el esparcimiento con la conservación de la naturaleza y su observación en su hábitat natural. La actividad incluye avistamiento de aves, mariposas, especies endémicas, flora, visita a balnearios naturales, interpretación de naturaleza y tradiciones locales, así como la participación de turistas en proyectos de investigación de naturaleza.”

Es importante considerar esta definición, ya que las actividades mencionadas no cuentan con infraestructura formal (donde pueda llevarse una estadística) para soportar 20, 414 visitantes diarios en promedio durante los 15 días de ese periodo vacacional. Por ello, se asume que se contabilizaron también dentro del rubro las otras clasificaciones que podrían considerarse dentro de la actividad “rural” citadas por www.turismotamaulipas.com: a) ligado a las tradiciones, los de “cultura y tradición” y el de “pueblos mágicos”; y b) ligado a la naturaleza, además del ya citado “turismo de naturaleza” refiere los de “caza y pesca deportiva”, “áreas naturales”, “turismo extremo” y “observación de aves y mariposas”. Todas ellas se realizan en el área de estudio.

A nivel municipio, la información más cercana a los empleos dedicados a la actividad turística se encuentra bajo el rubro de comercio y servicios, sin más especificaciones. En el Cuadro III.4.2.4-7 puede observarse que, aunque la **PEA** de los municipios clasificada como “comerciantes y servicios directos” (**INEGI, 2010**) va de 34 a 65%, la población ocupada en el sector “Servicios de Alojamiento Temporal y de Preparación de Alimentos y Bebidas” (**SATPAB**), que es lo más relacionado con servicios turísticos, sólo en Tampico y Ocampo rebasa el 6% (**INEGI, 2009**).

Por otra parte, existe una clara relación entre el personal ocupado en el **SATPAB** y la condición del municipio, ya que en casi todos los de carácter urbano y semiurbano el % de la **POC** alcanza casi 3 ó más. Las excepciones son, en el primero, el municipio de Altamira, por la gran cantidad de **POC** dedicada a la industria manufacturera y al comercio al por mayor (14.7%); y en el grupo rural, Gómez Farías, que destaca por la presencia de cinco hoteles de 2 a 4 estrellas vinculados todos a las actividades ecoturísticas de El Cielo, por lo que, con 3.27% de su **POC** dedicada a éstas, le permite estar casi al nivel de la capital estatal, Victoria, con apenas 0.05 puntos más arriba (**INEGI, 2009**).

Cuadro III.4.2.4-7. Valores de la producción y consumo (miles de €), PEA y personal ocupado en servicios relacionados al turismo de los municipios de la Cuenca (Fuente: INEGI, 2009; excepto donde se indica).

Municipio	% PEA ¹	U.Ec. ²	POC ³	POCtot	%POC	Prodn ⁴	Consm ⁵	Valor ⁶	Condición del mpio.
Ocampo	60.71	47	103	1,022	10.08	541.82	361.56	180.26	Suburbano
Tampico	37.07	1,473	8,187	120,998	6.77	81,461.99	47,081.10	34,380.89	Urbana
Ciudad Madero	35.85	680	3,535	76,221	4.64	28,073.49	15,212.52	12,860.97	Urbano
El Mante	47.35	605	1,853	42,667	4.34	11,455.34	6,018.98	5,436.36	Urbano
Victoria	38.22	1,406	4,422	133,350	3.32	36,660.28	19,929.00	16,731.29	Urbana
Gómez Farías	64.94	26	92	2,813	3.27	413.18	235.06	178.12	Rural
Xicoténcatl	52.67	95	232	7,445	3.12	1,329.88	624.52	705.36	Suburbano
González	64.32	156	431	14,760	2.92	2,198.84	1,215.71	983.13	Suburbano
Palmillas	50.52	6	12	490	2.45	85.70	28.65	57.06	Rural
Tula	29.51	95	209	8,811	2.37	1,441.51	759.70	681.81	Suburbano
Jaumave	49.34	51	122	5,228	2.33	456.82	293.68	163.13	Rural
Antiguo Morelos	56.84	21	58	2,652	2.19	217.18	141.55	75.63	Rural
Llera	57.44	52	100	5,727	1.75	420.30	306.99	113.31	Suburbano
Altamira	41.64	380	1,385	80,418	1.72	9,388.04	4,919.53	4,468.50	Urbano
Casas	51.49	-	21	1,309	1.60	64.87	22.40	42.48	Rural
Miquihuana	34.21	5	9	1,002	0.90	45.89	39.70	6.19	Rural
Güémez	61.04	13	19	5,651	0.34	104.11	57.87	45.08	Rural
Bustamante	31.96	-	6	2,385	0.25	6.65	2.78	3.88	Rural

Notas: 1) Población económicamente activa en el rubro "Comerciantes y Servicios Diversos" (Fuente: INEGI, 2010); 2) Unidades económicas; 3) Personal ocupado; 4) Producción bruta total; 5) Consumo intermedio; 6) Valor agregado censal bruto. Fuente: INEGI, Censo Económico 2009

Aún con la presencia hotelera, los datos no coinciden con las proyecciones de 2,450 empleos directos generados sólo en las actividades del CIE (Calderón, 2009, en prensa: <http://www.presidencia.gob.mx/2009/11/felicito-el-presidente-calderon-a-los-tamaulipecos-por-el-centro-interpretativo-el-cielo/>), que el anterior secretario de Turismo en el estado reduce a 1,500 para 2011 en los cuatro municipios de **El Cielo** (Villarreal, 2011, en prensa: <http://conexiontotal.mx/2011/02/06/solo-%E2%80%98el-cielo%E2%80%99-sobrevivio/>); ya que la suma del personal ocupado referido en el Cuadro III.4.2.4-7 para Jaumave, Ocampo, Llera y Gómez Farías es de 417. El Lic. Villarreal es originario de Ciudad Mante, y es conocedor experto de la región, por lo que se asume que los empleos que menciona incluyen aquellos no adscritos a la seguridad social (que son los referidos por INEGI, 2009), y que se trata de vendedores ambulantes, guías, artesanos y pequeños negocios familiares de hospedaje, preparación y venta de alimentos, etc. Debido a la importancia para la economía regional de este tipo de empleos, se toma como cifra más cercana a la realidad la dada por Villarreal (2011, ya citado), y es la que se ingresa a las estimaciones del modelo.

Para estimar el valor socioeconómico del empleo en este rubro, se parte de la hipótesis de que el paisaje con mayor vocación para generar empleo por turismo evita gastos a la sociedad por un monto mínimo equivalente a un subsidio por cada desempleado. Como esta prestación no existe como tal en el país, se toma como referencia el subsidio vigente a 2011 otorgado en España, que es de 479 euros mensuales como mínimo (<http://www.sepe.es/contenido/prestaciones/pdf/GuiaPrestacionContributiva.pdf>), y que representa el 78.5% del salario mínimo interprofesional de 633.3 euros mensuales (según Real Decreto 2030/2009 de 30 de diciembre: <http://www.juntadeandalucia.es/empleo/calidad/index.php?modo=contenidos&idcat=383>).

Para saber el número de personas que tienen un trabajo relacionado con actividades turísticas ligadas a la naturaleza (POC-tur), se multiplica el POC de los municipios rurales y suburbanos por 3.6, que es la relación entre el número de empleos citados por Villarreal (2011, ya citado) y el POC reportado por INEGI (2009). En los municipios

urbanos, se ingresó el % de la población ocupada fuera de la cabecera (Mante y Victoria). Para los casos de Tampico y Ciudad Madero, se usó el 1%, ya que en Tampico es de menos de 1% y en Ciudad Madero, el 100% es urbana.

Por lo tanto, si no existieran los atractivos naturales como fuente de empleo en la región, la sociedad tendría una carga financiera mínima equivalente al 78.5% de un salario mínimo por cada trabajador desempleado (1,006.94 ó 982.13 €/año dependiendo del municipio). Este es, como mínimo, el valor socioeconómico teórico de la aportación al empleo por la vocación turística de los paisajes en la cuenca. Por ello, en las localidades donde existe este tipo de empleo, dicho valor ascendió a 601,745.01 euros en el año 2011, de acuerdo con las estimaciones que se muestran en el Cuadro III.4.2.4-8.

Cuadro III.4.2.4-8. Subsidio teórico anual para la población ocupada (formal e informalmente) en actividades relacionadas con el turismo de naturaleza.

MUNICIPIO	Salario mínimo (€/año) ¹	POC ²	% POC rural	%POC ²	%POC-tur	POC-tur	Subsidio tur (€/año)
Altamira	1,282.68	1,385	72.39	1.72	6.19	85.73	86,323.37
Antiguo Morelos	1,282.68	58		2.19	7.88	4.57	4,601.95
Bustamante	1,251.12	6		0.25	0.90	0.05	53.03
Casas	1,251.12	21		1.6	5.76	1.21	1,187.98
Ciudad Madero	1,282.68	3,535	0	4.64	1% de POC	35.35	35,594.05
El Mante	1,282.68	1,853	11.77	4.34	22.76% POC	42.18	42,471.20
Gómez Farías	1,282.68	92		3.27	11.77	10.83	10,903.16
González	1,282.68	431		2.92	10.51	45.30	45,610.83
Güémez	1,251.12	19		0.34	1.22	0.23	227.66
Jaumave	1,251.12	122		2.33	8.39	10.24	10,052.88
Llera	1,251.12	100		1.75	6.30	6.30	6,187.41
Miquihuana	1,251.12	9		0.9	3.24	0.29	286.39
Ocampo	1,282.68	103		10.08	36.29	37.38	37,636.76
Palmillas	1,251.12	12		2.45	8.82	1.06	1,039.49
Tampico	1,282.68	8,187	0.07	6.77	1% de POC	81.87	82,435.21
Tula	1,251.12	209		2.37	8.53	17.83	17,509.10
Victoria	1,251.12	4,422	4.45	3.32	4.45% de POC	196.91	193,391.06
Xicoténcatl	1,282.68	232		3.12	11.23	26.05	26,233.47
TOTALES						603.38	601,745.01

Notas: POC = Población Ocupada (en SATPAB); Fuente: elaboración propia con datos de: SAT (1) http://www.sat.gob.mx/sitio_internet/asistencia_contribuyente/informacion_frecuente/salarios_minimos/ e INEGI, 2009 (2).

Con estas consideraciones, y para distribuir espacialmente el valor socioeconómico del paisaje por su aportación al empleo en la cuenca, se asume que cada sitio bien cuidado será capaz de generar hasta un empleo por hectárea, contabilizando sólo los sitios con una vocación para el ecoturismo al menos 30%. Por ello, se multiplica el mapa biofísico en % ≥ 0.3 , por el valor de un subsidio por trabajo de la POC-tur.

Estratificación de los ingresos por visitantes. Una forma adecuada de mantener estables los empleos rurales es cuidar y conservar los lugares de recreación, dotándolos de infraestructura básica, limpieza y vigilancia. Para que exista una verdadera ganancia para la sociedad, el financiamiento para esas mejoras no debería venir del gobierno, sino del mismo valor de la naturaleza, manifestado como la **WTP** de la población para

que el sitio cuente con dichas facilidades. Por ello, en la encuesta se les planteó la siguiente pregunta:

Imagina que uno de los sitios excepcionales es muy apto para visitarse y sus pobladores deciden reunir fondos para su conservación y mantenimiento, administrados por ellos y que dotará al lugar con vigilancia, limpieza, sanitarios, merenderos, etc. ¿Cuánto estarías dispuesto a pagar por adulto?

Las respuestas de los encuestados variaron desde 10 hasta 1,000 pesos (0.58 a 57.87 €), por lo que el valor para ingresar al modelo fue la moda de las respuestas: 50 pesos (2.89 €) como **WTP** del 40.71% de los encuestados. Es necesario señalar que el precio por adulto para entrar a las instalaciones del CIE es de 30 pesos (1.74 €), 20 por niño y 15 por adultos mayores (<http://viveelcielo.tamaulipas.gob.mx/servicios/>), pero se trata de un subsidio del gobierno. Por lo tanto, suponiendo que no hay ganancias, el precio de entrada representa los gastos de operación; por ello se asume que la diferencia entre este valor y la **WTP** de los encuestados sería la ganancia mínima por visitante obtenida por la sociedad (≈ 1.16 €).

Por otra parte, como ya se mencionó, Tamaulipas recibió 306,211 visitantes en la temporada de Semana Santa 2012 a sus destinos “rurales”; de ellos, Lacaille (2012, en prensa: <http://eldiariodevictoria.com.mx/2012/04/26/recibe-el-cielo-a-mas-de-14-mil-visitantes/>) menciona que 14 mil visitaron El Cielo: un 4.6% del total. Como el área de la Reserva representa el 9.85% de la cuenca:

$$4.6 = 9.85$$

$$X = 100 = 46.94\% \text{ del turismo}$$

$$= 143,731.7 \text{ visitantes/Semana Santa en la cuenca (sin incluir destinos de playa)}$$

La estimación de los visitantes el resto del año se obtuvo de los números absolutos reportados por el Centro de Información Estadística para el Empresario Turístico, disponibles para el año 2009 en centros turísticos seleccionados de México (<http://www.confederacion.org.mx/revista-grupo-detalle.asp?cmd=reset&start=1&idgrupo=2&t=Estad%EDsticas-y-Estudios-CNT>); de ahí, se obtuvieron los porcentajes de turistas al mes. El número de visitantes calculados para la cuenca en Semana Santa se consideró como el total para el mes de abril, y con esa base se extrapoló al resto del año, como se observa en el Cuadro III.4.2.4-9. Las ganancias se obtuvieron de multiplicar el número de turistas calculado, por la diferencia en euros entre la moda de la **WTP** y el precio de entrada al CIE (gasto de operación), que es igual a la ganancia por visitante: 1.16 €.

Cuadro III.4.2.4-9. Número de turistas relacionados con la naturaleza y las ganancias teóricas mensuales en la cuenca.

Mes	% visitantes ¹	Número	Ganancia (€)	Mes	% visitantes ¹	Número	Ganancia (€)
Enero	8.72	132,490.63	153,689.13	Julio	10.54	160,069.49	185,680.61
Febrero	8.22	124,872.81	144,852.46	Agosto	9.37	142,422.36	165,209.94
Marzo	9.01	136,868.34	158,767.27	Septiembre	6.67	101,303.80	117,512.40
Abril	9.46	143,731.70	166,728.77	Octubre	7.73	117,508.40	136,309.74
Mayo	5.76	87,577.18	101,589.53	Noviembre	8.33	126,631.33	146,892.34
Junio	7.22	109,732.45	127,289.64	Diciembre	8.96	136,139.88	157,922.26
				TOTAL	100.00	1,519,348.37	1,762,444.11

Fuente: elaboración propia con datos de SEDET (2012) y Lacaille (2012). 1- con base en datos de CIEET, 2009

El valor socioeconómico de los ingresos por visitante se obtiene ponderando la ganancia anual correspondiente a siete visitantes por hectárea (que es la densidad obtenida en la valoración socioeconómica de la calidad del hábitat) con los sitios con al menos 30% de vocación para el ecoturismo. Considerando que **El Cielo** es el sitio con más vocación turística, y que debe tener los valores máximos del *grid*, se multiplica el mapa biofísico ([Pai100T30]) por 8.12 € (de siete visitantes/Ha año, a 1.16 € cada uno).

III.4.2.5. Biodiversidad: contribución a la salud humana por disponibilidad de plantas usadas en medicina tradicional y como posible fuente de fármacos.

Desde finales de la década de los 80's, han surgido varias declaraciones y documentos internacionales para señalar la importancia del cultivo, uso sustentable y conservación de las plantas medicinales. Esto como respuesta a la preocupación por la amenaza que representa el fuerte aumento de la demanda mundial de esas especies (Bodeker, 2005). Precisamente, uno de los incentivos principales para promover la conservación y valoración de la biodiversidad es su "enorme potencial...como fuente de materias primas para la industria farmacéutica", especialmente en los ecosistemas de mayor riqueza biológica (Toledo, 1998).

Aunque esto se maneja a nivel mundial, es de esencial importancia "bajar" hasta el nivel de la población local el concepto de la importancia de sus ecosistemas, y la forma más directa es hacerles ver que las plantas de su entorno son más valiosas de lo que piensan, y lo que pueden perder/ganar en términos monetarios por cada hectárea de terreno con vegetación natural que pierda/conserva su cobertura.

Fundamentos del modelo

En México, las plantas medicinales se han usado para curar enfermedades y padecimientos desde tiempos prehispánicos, y la población sigue utilizándolas para aliviar sus enfermedades más comunes. Argueta *et al.* (1994, citado por González-Stuart, 2010) destaca la "profunda integración" de la herbolaria tradicional en la cultura mexicana, donde gran cantidad de personas acuden a ella, aún con la actual cobertura y accesibilidad de la población a las instituciones médicas y los medicamentos (Figura III.4.2.5-1). A este respecto, Hernández *et al.* (1991) mencionan que la prioridad en el uso de las plantas está relacionado con factores socioeconómicos y culturales de la población, y que en Tamaulipas el mayor número de especies con algún uso es el grupo de las medicinales (conocidas localmente como "hierbas para remedio"), seguidas de las comestibles. Toledo (1998) refiere que estas especies se utilizan de dos formas para propósitos medicinales: ya sea como productos farmacéuticos o como medicina tradicional.



Figura III.4.3.5-1. Hierbas medicinales y otros productos usados en medicina tradicional. Mercado de Ciudad Victoria.

Como en México, en otros países en vías de desarrollo esta tradición se mantiene; pero además, el uso de remedios naturales para el tratamiento de enfermedades menores ha ido en aumento también en países desarrollados, debido en parte al incremento de los costos en el mantenimiento de la salud personal (Hoareau y DaSilva, 1999).

En la mayoría de los países en vías de desarrollo, la OMS estima que entre el 70 y el 95% de la población depende de la medicina tradicional como atención primaria de su salud; aún en países desarrollados como Alemania y Canadá, 80 y 70% de su población manifiesta haber usado complementos de medicina “alternativa”. Por otra parte, al menos el 25% de las medicinas modernas contienen ingredientes activos derivados directa o indirectamente de plantas medicinales; en el caso de los antitumorales y los antimicrobianos, esta cifra se eleva hasta un 60% (Robinson y Zhang, 2011).

Por estas razones, el mercado de hierbas medicinales se ha extendido, aumentando su demanda (Hoareau y DaSilva, 1999) al grado de que el mercado mundial de éstas fue valorado en 83 mil millones de USD para el año 2008 (Robinson y Zhang, 2011). Sólo para EEUU se calcula que en el año 2010, la población gastó más de cinco billones de USD (cinco mil millones USD) en hierbas medicinales (O'Mahony, 2010).

Todo este escenario ha ido llevando al riesgo de extinción o pérdida de diversidad genética, particularmente en las especies más demandadas (Hoareau y DaSilva, 1999). Además, en Tamaulipas como en otros sitios, ocurre que, según Cardenal (1994, en Lagos-Witte, 2005) el conocimiento tradicional sobre plantas medicinales se encuentra amenazado por la deforestación asociada a los cambios en el uso del suelo, y por la pérdida de formas de labranza y manejo tradicional de las plantas silvestres, semi silvestres y domésticas; Hernández *et al.* (1991) coinciden con estas observaciones, añadiendo además el fenómeno de la transculturización como una de las causas de la disminución en el uso tradicional de las plantas.

Aunque se ha estimado que en México podrían existir de tres a cinco mil especies de plantas medicinales con potencial médico (Aguilar, 1998; citado por González-Stuart, 2010; Lozoya, 1994), menos del 1% han sido estudiadas lo suficiente respecto a sus propiedades Argueta *et al.* (1994, citados por González-Stuart, 2010). No obstante, la búsqueda en Google Académico™ (marzo de 2012) de plantas medicinales reportadas por Hernández *et al.* (1991), arrojó resultados de más de 500 entradas para 51 especies (usando el nombre científico + medicinal, entrecomillados), lo que representa un 16% de las especies medicinales reportadas para el área de estudio; destacan la higuera (Ricinus communis) con más de once mil, así como el chile piquín (Capsicum annuum), el toloache (Datura stramonium), la guayaba (Psidium guajava) y el maíz de Texas (Helianthus annuus), con más de cinco mil entradas cada una.

Solamente en el inventario de plantas útiles de Tamaulipas (de Hernández *et al.*, 1991) se registraron 610 especies, usadas como “remedio” (medicinal), comestibles (alimento, bebidas, condimentos), maderables, ornamentales, sustituto de productos industriales, obtención de fibras, curtiduría y para fabricación de artesanías y utensilios. De éstas, 334 tienen un uso medicinal en todo el estado, de las que 309 (92.5%) se encuentran en el área de estudio; el mayor número de usos medicinales comparado con otros usos se relaciona con la premisa general de que “la salud es primero”. Otros inventarios existen

a nivel regional y nacional (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, MTM, <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/index.php>, Alvarado *et al.*, 2010; Adame y Adame, 2000; González, 1998; Cano *et al.*, 1997; Argueta *et al.*, 1994; por citar algunos), pero con el objeto de simplificar el modelo y analizarlo sobre la base mínima que requiere la evaluación socioeconómica, se utilizó este inventario para contabilizar el número de Enfermedades y/o Padecimientos (E/P) que la sociedad se trata con las plantas medicinales disponibles en cada uno de los LULC.

Construcción del modelo biofísico

Información biofísica de las plantas medicinales. A partir del estudio de las plantas que son utilizadas en Tamaulipas para diversos fines de Hernández, *et al.* (1991), se seleccionaron las especies con uso medicinal, y que pertenecieran a los ecosistemas del sur del estado (excepto el Matorral Desértico Micrófilo, ausente en la cuenca). Con esta información, se construyó una base de datos (Figura III.4.2.5-2), con un registro para cada especie y con los campos correspondientes a: nombre científico, nombre común (agregando la forma estructural: árbol/arbusto/hierba/trepadora, rastrera), comunidad vegetal, la forma de uso y las E/P para los que son utilizadas. Cuando no se especificaba la E/P, se buscó principalmente en las bases de datos de CONABIO (por ejemplo: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/12-bigno8m.PDF) y en la MTM, o en otras (especificadas en la base de datos); cuando no se encontró referencia de la E/P, se dejó como “no especificada”.

Figura III.4.2.5-2. Parte de la base de datos con la información de las plantas con uso medicinal utilizadas para el presente estudio. Los datos completos se encuentran en el ANEXO DIGITAL 4

Cve	Especie	Nombre común	Uso	Refs	E/P y forma de uso	Vegetación (LULC)	Cve-vege
1	<i>Anisacanthus wrightii</i>	Gray "muicle" hierba	MEDICINAL	5	(en infusión para cólico)	Regiones inundables de selvas MEDianas y bajas del sur	INU, SBC, SMSC
2	<i>Jacobinia incana</i>	Hemsley "muicle" arbusto	MEDICINAL COLORANTE	2	en infusión para cólico, tos, fiebre, hemorragias, neuralgia, mareos	selva baja caducifolia del sur;	SBC
3	<i>Yucca filifera</i>	"palma china" o "palma loca" arbusto	HOJA FIBRAS (jarciería, cordelería), TRONCO APIARIOS "butanos" Y SAPOGENINAS; RAIZ SAPOGENINAS; FLOR "chochas" Y FRUTO "dátiles" COMESTIBLES; FRUTO BEBIDAS, MEDICINAL	86	- dolor de muelas (MTM)	matorrales micrófilo, espinosoy rosetófilo del suroeste	MDR, MZQ
4	<i>Celosia nitida</i>	"chia", hierba	RAIZ MEDICINAL	2	- caspa, dolor de garganta (Arellano, <i>et al.</i> , 2003)	selva baja caducifolia del sur	SBC
5	<i>Iresine calea</i>	"tepozán", hierba	MEDICINAL	19	(en decocción tiene propiedades febrífugas)	selva baja caducifolia del sur	SBC
6	<i>Rhus aromatica</i>	"agrito", arbusto	FRUTO COMESTIBLE Y PARA BEBIDAS; HOJA MEDICINAL Y AROMATIZANTE; TRONCO Y RAMAS PARA ARTESANÍAS Y CESTERÍA	278	-	matorral alto subnival del suroeste	MSM
7	<i>R. toxicodendron</i>	"hiedra", trepadora	TOXICA; LATEX PARA TINTES Y BARNICES; MEDICINAL	2110	-	vegetación riparia y selva MEDiana subcaducifolia del sur	RIPA, SMSC
8	<i>R. virens</i>	"lantrisco", arbusto	FRUTO BEBIDAS; TRONCO PARA CERCAS, CURTIENTE; RAMAS Y HOJA MEDICINALES	37	Diabetes (González, 2010)	matorrales alto subnival y esclerófilo del suroeste; bosques de pino y encino en sierras	MSM, BE, BPE
9	<i>Spondias mombin</i>	"jobo", árbol	CERCO VIVO; MADERA PARA ACABADOS Y PAPEL; FRUTO COMESTIBLE, BEBIDAS, MEDICINAL Y FORRAJE	1460	Piel, diarrea, dolor de estómago, disentería, empacho, antiséptico, antídoto, tos, cataratas, fiebre, diurética (MTM)	selva baja caducifolia del sur	SBC, SMSC, SAMS
10	<i>Annona globiflora</i>	chinmoya", arbusto	FRUTO COMESTIBLE Y MEDICINAL	8	(contra diarreas)	selvas bajas y MEDianas del sur	SBC, SMSC, SAM

Algunos campos fueron complementados por conocimiento y práctica del uso personal de ciertas especies, y con el apoyo y supervisión de una especialista en plantas de uso medicinal en México, Brasil, República Dominicana y España (Quilez Guerrero, A.). Finalmente, se agregó un campo con el número de entradas registradas para la especie en Google Académico, ingresando como criterios de búsqueda el *nombre científico* y la palabra *medicinal*, ambos entrecomillados.

El modelo biofísico se construyó a partir del número de especies de plantas medicinales (PMed) para tratar las diferentes E/P; es decir, los "tratamientos" registrados para cada E/P evaluada; cada "tratamiento" se le nominó "Tratamiento por Planta Medicinal" (TPMd). Como se desconoce la densidad de plantas y especies de cada unidad de

superficie en los ecosistemas de la cuenca, se asumió que el número total de **TPMd** se encuentra en cuatro hectáreas del LULC; por lo tanto, el número máximo de **TPMd** en un pixel en el *grid* es igual a la cuarta parte (80) de 320, que son los **TPMd** encontrados en el LULC con más reportes de **PMd** (la SBC).

En los casos de coberturas de LULC no mencionadas por [Hernández, et al. \(1991\)](#), se realizaron las siguientes consideraciones: a) para el LULC correspondiente al agua, se ingresó el mismo valor que para las especies encontradas en las zonas inundables; b) en las manchas urbanas se ingresó el 10% del valor de los registros de AGTA-pzi, asumiendo que parte de la mancha urbana aporta cobertura vegetal a través de sitios baldíos, áreas verdes y jardines domésticos, donde crecen especies principalmente oportunistas como las de ese tipo de LULC; ese mismo dato se utilizó para las coberturas agropecuarias y las zonas quemadas c) para el suelo desnudo se ingresó un cuatro, para que al aplicar la densidad diera el valor de 1 (y eliminar los ceros del *grid*); d) los datos para las consideraciones b) y c) se ingresaron teniendo en cuenta que, al ponderar con el mapa de calidad del hábitat, resultan valores muy cercanos a cero, debido a que son los LULC más degradados. Por otra parte, se aclara que en la evaluación no se incluyeron otras especies para tratar **E/P** menos comunes, ni las que no especificaban la **E/P**.

Es necesario destacar que algunas especies son utilizadas para tratar más de una **E/P**, y además se encuentran en más de un LULC, por lo que el modelo no refleja la abundancia de especies, sino el número máximo de **TPMd** por unidad de superficie. Finalmente, el mapa de la distribución espacial de los **TPMd** obtenido se ponderó con el de calidad del hábitat, con la idea de que sólo aquellos ecosistemas mejor conservados son capaces de albergar el 100% de las especies registradas para cada LULC.

Evaluación socioeconómica del modelo

Valor de cuasi-opción de los medicamentos. Siguiendo la metodología de [Pearce y Puroshothaman \(1992\)](#), adaptada para México por [GMx y BM \(1995\)](#), se obtuvo el valor de opción a futuro (término que en economía se da para el método que evalúa el uso aún no conocido –en este caso- de una especie botánica) de los productos farmacéuticos que pueden existir en cada LULC, por hectárea al año. La fórmula considera los siguientes factores y valores utilizados en México por [GMx y BM \(1995\)](#):

$$V_p(LULC) = \frac{N \cdot p \cdot r \cdot a \cdot V/n}{H}$$

Donde:
V_p (LULC)= Valor de los fármacos en una hectárea de LULC
N= Número de especies de plantas en el LULC
p= Probabilidad de éxito = 0.0005
r= Tasa de regalía = 0.05
a= Tasa de apropiación o captura de beneficio= 0.1
V/n= Valor promedio anual de los medicamentos desarrollados=
 681'861,057.26 euros
H= Área del LULC (en Ha)

[GMx y BM \(1995\)](#) usaron un valor medio de 5 en 10,000 como probabilidad de que una especie de planta contenga una sustancia que acabe siendo aprobada para uso medicinal (**p** en la ecuación), pues expertos de compañías farmacéuticas estiman que la probabilidad oscila de 1/10,000 a 1/1,000. En el caso de las regalías, asumieron una tasa **r**=0.05; estas podrían alcanzar hasta 20%, pero dieron un valor bajo debido a que en

México no existe una protección en patentes. Por su parte, la tasa de apropiación (**a**) depende de la capacidad institucional para la que el país tiene recursos, lo que permitiría que el producto se comercializara internacionalmente; en este caso, estimaron que el país tiene la capacidad de capturar beneficios por un 10% (que, en países industrializados puede ser de hasta 100%).

V/n. Las plantas producen fármacos con valores promedio que fluctúan de 390 a 7,000 millones de **USD**, aunque estas cifras no reflejan el excedente del consumidor (que es la diferencia entre lo que paga y lo máximo que estaría dispuesto a pagar), debido en gran parte a que los precios de los medicamentos tienden a ser inflexibles. Estos precios reflejan otros factores además del material obtenido de la planta, lo que incrementa en exceso su valor (Pearce y Puroshothaman, 1992). Con estas consideraciones, **GMx y BM (1995)** calcularon el **Vp** en la ecuación con ambos extremos y un intermedio de mil millones de **USD**; este valor intermedio consideran que retorna un resultado “más acertado” de 6.44 **USD** por hectárea al año.

Aunque **GMx y BM (1995)** calcularon el valor para México, con una media de cinco mil especies para cada una de las coberturas “forestales”, en la cuenca se usaron para cada LULC los valores dados por varios autores en Tamaulipas (Hernández *et al.*, 1991; Céspedes, 1999; Mora *et al.*, 2008) y México (Rzedowski, 1991; FAO, 2010; Ramírez, 2010). Se dio preferencia a los valores dados para el estado, pero se tomaron los valores calculados a partir de FAO (2010) o Rzedowski (1991) cuando eran superiores a los de Hernández *et al.* (1989), ya que, como se ha mencionado, estos autores sólo enlistan las especies con algún uso humano. Para el caso de las coberturas agropecuarias, se otorgó el valor promedio del valor agrupado de la FAO (2010). Para obtener las especies en la cuenca (el valor de **N** en la ecuación) cuando no había la referencia, el número de especies dadas por Rzedowski (1991) se multiplicó por el % de superficie del LULC en la cuenca respecto al total del país. Posteriormente, se ponderó con la calidad del hábitat, similar al modelo anterior. Los valores utilizados para ingresar a la fórmula de evaluación se muestran en el Cuadro III.4.2.5-1.

Cuadro III.4.2.5-1. Especies de plantas por LULC y los datos para calcular sus valores de opción por los fármacos producidos.

LULC	SppMX	supMX	%de MX	N	Referencia de N: (supMX, FAO)
AGR	2000	*	0.0111441	22.29	FAO, 2010
AGTA	2000	*	0.0111441	22.29	FAO, 2010
AGTApzi	2000	6,676,333.07	0.02046827	73.00	Hernández, <i>et al.</i> , 1991
AGTP	2000	*	0.0111441	22.29	FAO, 2010
AGUA	1000	1,358,573.16	0.0226598	68.00	Mora, <i>et al.</i> , 2008
BE	7000	6,936,644.05	0.01196602	83.76	FAO, 2010
BEBPEvs	7000	4,216,130.73	0.00774454	54.21	FAO, 2010
BMM	3000	844,461.86	0.03417206	102.52	FAO, 2010
BP	7000	5,193,278.86	0.00581213	40.68	FAO, 2010
BPE	7000	5,809,332.64	0.01237733	86.64	FAO, 2010
BT	3000	317,597.91	0.01125952	33.78	FAO, 2010
DESN	2000	976,502.62	0.039281	12.00	Hernández, <i>et al.</i> , 1991
INU	1000	139,974.22	0.00456513	39.00	Hernández, <i>et al.</i> , 1991

CONTINÚA...

Cuadro III.4.2.5-1. Especies de plantas por LULC ... CONTINÚA

LULC	SppMX	supMX	%de MX	N	Referencia de N: (supMX, FAO)
MAN	1000	826,907.30	0.0003108	56.00	Céspedes,1999
MDR	6000	10,287,028.09	0.00535354	42.00	Hernández, <i>et al.</i> ,1991
MSM	6000	2,333,636.67	0.03401429	204.09	FAO, 2010
MZQ1	6000	2,018,829.88	0.00381805	95.00	Hernández, <i>et al.</i> ,1991
MZQvs	6000	372,419.46	0.11508529	690.51	FAO, 2010
PALM	5000	6,676,333.07	0.00115303	41.00	Ramírez, 2010
PZC	6000	*	0.0111441	66.86	FAO, 2010
PZI	6000	6,676,333.07	0.00162814	73.00	Hernández, <i>et al.</i> ,1991
QUE	2000	976,502.62	0.03270037	65.40	FAO, 2010
RIPA	1000	139,974.22	0.00231471	39.00	Hernández, <i>et al.</i> ,1991
SAMS	5000	1,581,049.56	0.02032068	101.60	FAO, 2010
SBC	6000	6,591,462.70	0.01758107	210.00	Hernández, <i>et al.</i> ,1991
SBCvs	6000	7,574,615.01	0.01316106	210.00	Hernández, <i>et al.</i> ,1991
SBEhzch	6000	604,981.60	0.10008073	600.48	FAO, 2010
SMSC	5000	417,120.77	0.19071215	953.56	FAO, 2010
TUL	1000	909,719.48	0.01614454	68.00	Mora, <i>et al.</i> , 2008
URBA	1000	153,709.96	0.13405768	12.00	Hernández, <i>et al.</i> ,1991

Fuente: elaboración propia con datos de las referencias que se anotan.

Como puede observarse, este es un modelo probabilístico, que supone y evalúa la existencia de una especie que contenga una sustancia farmacológica exitosa por cada LULC del área de estudio. Su valor es parecido al de un seguro médico: no se está tasando la vida de la persona (el *precio* de una especie), sino la posibilidad de que le suceda algo que arriesgue o acabe con su vida (el *valor* de que pueda existir una sustancia exitosa en dicha especie); en ambos casos, es necesaria más información.

Ahorro social por uso de plantas medicinales en sustitución de medicamentos para aliviar enfermedades y padecimientos menores.

El valor socioeconómico de la flora medicinal presente en los ecosistemas de la cuenca es, como mínimo, equivalente al ahorro en gastos por medicamentos que el **IMSS** evita comprar, debido al uso que cierta parte de la población hace de las plantas medicinales disponibles. Es necesario aclarar que en este trabajo se analizó sólo un inventario de especies (de Hernández, *et al.*, 1991), y evaluando sólo las enfermedades y padecimientos más comunes en su forma menos grave y algunas crónico-degenerativas, como diabetes y enfermedades nerviosas.

Información de E/P. Se construyó una base de datos (ANEXO DIGITAL 6) de **E/P** con el apoyo y supervisión de una especialista en Medicina Familiar de la Clínica de Medicina Familiar del **IMSS** en Ciudad Victoria (Requena, I., 2012). Las **E/P** identificadas como “más comunes”, en su forma menos grave, y que fueron más mencionadas en la base de datos de **PMed**, se agruparon y se seleccionó una **E/P** indicadora, para registrar los medicamentos usados por el **IMSS** para tratarla, sus costos y la población afectada.

Los campos de esta base de datos (Cuadro III.4.2.5-2) fueron: grupo de **E/P**; **E/P** indicadora; medicamento y precio comercial (obtenidos de diferentes portales de internet); precio de adquisición del **IMSS** (de su portal de compras:

http://compras.imss.gob.mx/?P=search_alt), para cada medicamento indicado para la E/P por la especialista, comprado por la delegación en Tamaulipas en las últimas fechas disponibles, y con características iguales o similares al medicamento comercial (en cuanto a componente activo, forma de aplicación, dosis y número de dosis). Finalmente, la incidencia de enfermedades fue proporcionada por la especialista, con datos de porcentaje de incidencia anual de la E/P en la población de la clínica a su cargo.

Cuadro III.4.2.5-2. Medicamentos para tratar las E/P analizadas, sus características y la población afectada (2011) en la Unidad Médica Familiar No. 67, de Ciudad Victoria.

E/P cve.	Enf/Padec	Pobla. Afect.	% anual de incidencia	Medicamento IMSS y características (http://compras.imss.gob.mx/?P=search_al)	Costo (€) comercial	Costo (€) IMSS
AnSp	Uso Antiséptico	s.d.	6.25 (1)	Merthiolate 40 ml (2)	0.72	0.72 (3)
Asm	Asma	1,974	4.16	Salbutamol, suspensión en aerosol. Cada inhalador contiene: salbutamol 20 mg o sulfato de salbutamol equivalente a 20 mg de salbutamol envase con inhalador con 200 dosis de 100 microgramos	19.48	1.33
Conju	Problemas oculares (conjuntivitis)	2,967	6.25	Neomicina, polimixina B y gramicidina, solución oftálmica, gotero integral con 15 mililitros	2.60	1.61
Dcab	Dolor de cabeza	852	1.79	Paracetamol (acetaminofen) tabletas. Cada tableta contiene paracetamol 500 mg	1.72	0.58
Dest	Dolor de estómago	2,068	4.36	Butilhioscina grageas, cada gragea contiene bromuro de butilhioscina 10 mg	3.01	0.46
Diab	Diabetes	14,723	31.01	Glibenclamida tabletas cada tableta contiene glibenclamida 5 mg	641.91	14.17
Diarr	Diarrea	2,856	6.02	Loperamida comprimidos o grageas con 2 miligramos	6.20	0.19
Disen	Disentería	857	1.81	Metronidazol tabletas ranuradas con 500 miligramos	6.29	0.23
Dmue	Dolor de Muela	1,775	3.74	metamizol sódico dipirona solución inyectable cada ampollita contiene metamizol sódico 1 g ampollita de 2 ml	2.97	0.56
Dmus	Dolor Muscular	3,594	7.57	Naproxeno tabletas 250 mg 2009	9.74	1.22
Fieb	Fiebre	1,558	3.28	Paracetamol (acetaminofen) tabletas. Cada tableta contiene paracetamol 500 mg	1.72	0.58
GinOb	Ginecoobstétricas (Regulador de menstruación)	586	1.23	Clormadinona tabletas cada tableta contiene: acetato de clormadinona 2 mg	8.75	0.60
Ner	Nerviosas ("susto")	873	1.84	Fluoxetina capsulas o tabletas, cada capsula o tableta contiene: clorhidrato de fluoxetina equivalentes a 20 miligramos de fluoxetina	198.76	0.95
Para	Parasitosis (lombrices)	898	1.89	Albendazol tabletas, cada tableta contiene: albendazol 200mg	7.93	0.17
Piel	Piel (Infecciones leves)	651	1.37	Clioquinol (yodoclorohidroquinoleína), crema contiene cada G contiene: clioquinol 30 mg envase con tubo de 20 g	2.36	0.26
Tos	Tos	9,132	19.23	Ambroxol, solución oral cada 100 ml contiene: clorhidrato de ambroxol 0.030 g	6.81	0.20
Vuri	Urinarias ("mal de orín")	2,115	4.45	Fenazopiridina tabletas cada tableta contiene: clorhidrato de fenazopiridina 100 mg	7.45	0.54

Notas: 1) En el IMSS no se recetan antisépticos, por lo que la incidencia se tomó del promedio; 2) el antiséptico sin receta, con datos usados también para precio IMSS. Fuente: elaboración propia con datos de incidencia proporcionados por Requena, I. (2012)

Se calculó el gasto social en medicamentos para la población en la cuenca aquejada por las E/P mencionadas por [Hernández et al. \(1991\)](#), categorizadas como "más comunes", en su forma menos grave o crónico-degenerativas. Para ello, se estimó la población afectada en el área de estudio para cada una de ellas, asumiendo que el porcentaje de incidencia anual en Ciudad Victoria (proporcionado por Requena, I., 2012) es el mismo que en la cuenca. El costo unitario (del IMSS) de cada medicamento se multiplicó por la población afectada; además, para el caso de diabetes y enfermedades nerviosas, se multiplicó por doce y por tres respectivamente, teniendo en cuenta que son tratamientos crónicos, como indicó la especialista.

Para calcular el ahorro social por uso de plantas medicinales que la población utiliza como sustituto de medicamentos (Cuadro III.4.2.5-3), se asumió que sólo un 20% de la población afectada acude a las **PMed** disponibles en su ecosistema. Esta proporción debería ser mucho mayor, ya que, como ya se mencionó, la **OMS** considera que en los países en desarrollo entre 70 y 95% de la población depende de las plantas medicinales (Robinson y Zhang, 2011); mientras que en Tamaulipas, De la Garza (2009) reporta que en la ciudad fronteriza de Matamoros, sólo el 17% no las utiliza, un 8% siempre acude a ellas y el resto las usa ocasionalmente. Es importante recalcar que en esta evaluación se asume que las especies contabilizadas en la base de datos (a partir de Hernández *et al.* (1991), son eficientes para aliviar las **E/P**, ya que de otra forma habrían desaparecido del uso tradicional.

Cuadro III.4.2.5-3. E/P evaluadas, su incidencia, costos del tratamiento a la población afectada y los ahorros anuales por uso de Pmed del 20% de la población afectada. Precios, costos y ahorros expresados en €.

E/P	Precio comercial	Precio IMSS	incidencia anual	Población afectada	Costo comercial	Ahorro comercial	Costo IMSS	Ahorro IMSS
AnSp	0.72	0.72	0.0625	50,634.94	36,480.71	7,296.14	36,480.71	7,296.14
Asm	19.48	1.33	0.0416	33,683.39	656,202.92	131,240.58	44,831.92	8,966.38
Conju	2.60	1.61	0.0625	50,627.47	131,838.56	26,367.71	81,446.93	16,289.39
Dcab	1.72	0.58	0.0179	14,538.12	24,986.67	4,997.33	8,413.02	1,682.60
Dest	3.01	0.46	0.0436	35,287.37	106,185.76	21,237.15	16,336.27	3,267.25
Diab	641.91	14.17	0.3101	251,226.25	161,265,137.74	32,253,027.55	3,558,935.51	711,787.10
Diarr	6.20	0.19	0.0602	48,733.42	302,093.35	60,418.67	9,080.85	1,816.17
Disen	6.29	0.23	0.0181	14,623.44	91,960.83	18,392.17	3,300.33	660.07
Dmue	2.97	0.56	0.0374	30,287.75	89,914.17	17,982.83	17,088.95	3,417.79
Dmus	9.74	1.22	0.0757	61,326.30	597,523.76	119,504.75	74,526.33	14,905.27
Fieb	1.72	0.58	0.0328	26,584.97	45,691.59	9,138.32	15,384.37	3,076.87
GinOb	8.75	0.60	0.0123	9,999.22	87,490.68	17,498.14	6,000.52	1,200.10
Ner	198.76	0.95	0.0184	14,896.46	2,960,843.46	592,168.69	14,223.63	2,844.73
Para	7.93	0.17	0.0189	15,323.04	121,481.26	24,296.25	2,660.17	532.03
Piel	2.36	0.26	0.0137	11,108.35	26,259.44	5,251.89	2,892.72	578.54
Tos	6.81	0.20	0.1923	155,824.09	1,060,528.99	212,105.80	30,658.95	6,131.79
Vuri	7.45	0.54	0.0445	36,089.35	268,782.70	53,756.54	19,443.41	3,888.68
TOTALES					167,873,402.60	33,574,680.52	3,941,704.62	788,340.92

Notas: AnSp= Antiséptico; Asm= asma; Conj= conjuntivitis (y oculares); Diab= diabetes Mellitus; Diar= diarrea; Dis = disentería; Dcab= dolor de cabeza; Dest= dolor de estómago; Dmue= dolor de muelas y bucales; Dmus= dolor muscular; Fieb= fiebre; GinOb= ginecobstétricos; Ner= padecimientos nerviosos; Para= parásitos (del aparato digestivo); Piel= infecciones de piel; Tos= tos y catarro; Vuri= vías urinarias.

El valor social de los **TPMd** que sustituyen a cada medicamento se multiplicó por su número en cada uno de los LULC. Para obtener el valor por hectárea que se ingresó al mapa, este valor se dividió entre la superficie del LULC, distribuyendo el resultado entre cuatro, para evaluar la densidad del 100% de las especies en cuatro hectáreas de terreno, igual que el modelo biofísico; para el suelo desnudo se utilizó el valor mínimo (correspondiente a AGR). Posteriormente fue ponderado con el mapa de calidad de hábitat, con la idea de que un hábitat más conservado tendrá mayor posibilidad de contener todas las **PMed** inventariadas.

III.5. EL VALOR SOCIOECONÓMICO DE LA CUENCA POR SUS SSAA

Finalmente, se obtuvo el valor socioeconómico de la cuenca por los SSAA evaluados, a través de la suma aritmética del valor por hectárea de cada SSAA. Posteriormente, este mapa fue agrupado en LULC y en municipios, para encontrar las aportaciones individuales en ambos casos.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES



“Necesitamos comunicar con evidencia convincente el valor de la naturaleza y el costo de perderla”
(Gretchen Daily. Natural Capital Project)

IV.1. Identificación de las comunidades vegetales y los usos de suelo presentes en la cuenca y generación de Unidades de Paisaje

Se describen, en primera instancia, los mapas generados como insumos para la creación del mapa de vegetación y uso del suelo, así como la evaluación de su grado de confiabilidad. En la siguiente descripción se mencionan distintos lugares de la cuenca para ayudar a situarse en la ubicación de distintas clases de coberturas; estos sitios de referencia se observan en la Figura IV.1-1.

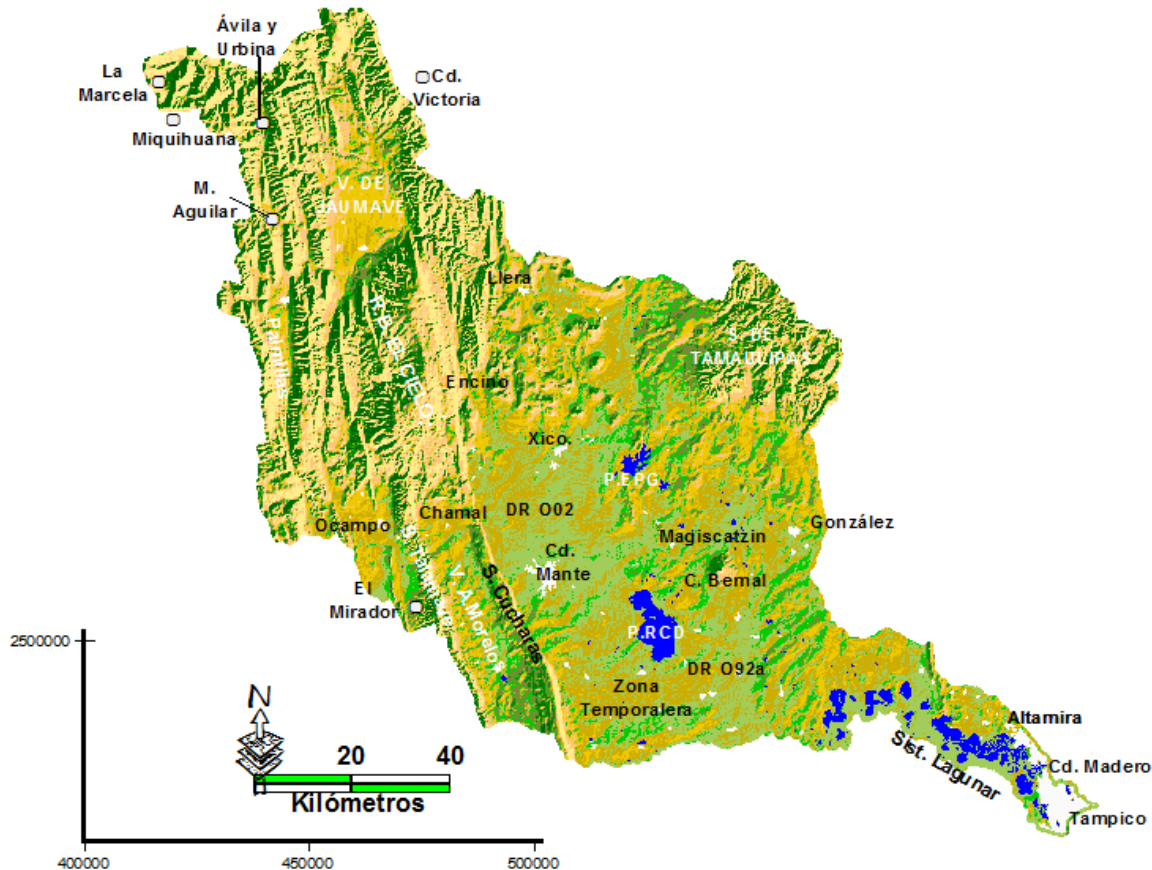


Figura IV.1-1. Sitios de referencia utilizados en la descripción de clases de coberturas en el presente apartado. V= Valle; D.R= Distrito de Riego; Cd.= Ciudad; S. = Sierra; C.= Cerro; Sist.= Sistema; P.R.C.D.= Presa Estudiante Ramiro Caballero Dorantes (Las Ánimas); P.E.P.G.= Presa Emilio Portes Gil.

IV.1.1. Imágenes clasificadas

El trabajo de clasificación de imágenes partió de la exploración diaria de la Web de NASA/GSFC, *Rapid Response*, para seleccionar y descargar aquellas candidatas a utilizarse en el estudio. Se obtuvieron 107 escenas para cada subset (214 escenas en total), con un tamaño de 56,754 Mb cada una. En este recuento no se incluyen escenas de años anteriores, que se usaron como referencia, pero no en el proceso. El mismo número de mosaicos fue generado a partir de ellas (Cuadro IV.1.1-1).

Cuadro IV.1.1-1. Número de escenas e imágenes obtenidas por cada año de análisis.

Año	Escenas	Mosaicos	Imágenes clasificadas
2006	32	16	2
2007	18	9	1
2008	40	20	2
2009	16	8	1
2010	68	34	6
2011	40	20	5
Totales	214	107	17*

* En el proceso final se descartó una de 2011.

Resulta evidente la diferencia del número de escenas entre los años de análisis. Aunque en un principio se pensó que podría interpretarse como un indicador de la humedad del año en cuestión, con los análisis de Índice de Verde y cotejando las fechas con datos del índice de severidad de la sequía para el periodo de análisis de la red de Monitoreo de Sequía de Norteamérica ([NADM, 2012](#)), no se encontró una relación simple, y algunos datos son contradictorios entre estas.

NASA/GSFC, *Rapid Response* aclara que sus imágenes disponibles al público en general pueden presentar inconsistencias cuando se les somete a mayores niveles de proceso. Esto se hace evidente en la descripción de las imágenes ya clasificadas, pero en general, es posible señalar que las principales inconsistencias debidas a la captura de la imagen se presentaron por aparición de sombras, especialmente en las del satélite Aqua, así como duplicación de valores de píxeles vecinos, que provoca un efecto de “pixelado”, principalmente en las imágenes más antiguas.

Para encontrar el grado de confiabilidad del mapa final, se aplicó una evaluación bastante simplificada del método de [Couturier \(2011\)](#), que otorga al Mapa de Vegetación y Uso de Suelo de este trabajo una confiabilidad global de 72.4%, “muy buena”, si se usa el criterio de llamar así a una de las clases que obtuvo 77% en su evaluación. La confiabilidad del mapa aquí generado presenta un valor similar al 71% reportado para el producto MOD12Q1 (Fried *et al.*, 2002; citado por [Couturier, 2011](#)), pero sensiblemente superior a lo que dicho autor encontró para los mapas producidos para México a partir del producto, con confiabilidad de 65% global. Un valor superior para este estudio era de esperarse, debido al ámbito de evaluación multitemporal (incluyendo condiciones de verdor, que el autor no contempla más que a nivel auxiliar), más localizado y con mayor detalle en la escala de trabajo.

Se esperaba que las clases antropogénicas definidas con base en los polígonos del INF ([UNAM, 2000](#)) obtuvieran los mayores porcentajes de acierto, lo cuál resultó verdadero, especialmente para los cuerpos de agua y las áreas urbanas, con más de 90%, como muestra el Cuadro IV.1.1-2. Las zonas de riego resultaron con 84% de acierto, ya que dentro de los polígonos del INF se encontraban relictos de selvas bajas, vegetación riparia, matorrales espinosos (mezquital y huizachal), sitios de agricultura de temporal y pastizales. De forma similar se comportaron los sitios para AGTA (77%), AGTP (60%), así como PZC y PZI, con valores menores a 60%.

Dentro de las coberturas naturales, destacan por su elevado porcentaje de acierto la selva mediana, los bosques húmedos de montaña y el de táscate, así como el palmar y el matorral semidesértico, con valores que superan el 80%. Comparando con [Couturier \(2011\)](#), su análisis indicó que el clasificador detecta correctamente un 73% de lo que se clasifica como bosque; esto coincide con este trabajo, ya que, con la excepción del bosque de encino, el resto de este tipo de comunidad iguala o supera el 70%. Destaca que las mejor clasificadas fueron las selvas subperennifolias y el BMM (que en este trabajo obtuvieron 77 y 93% respectivamente). Precisamente del BE ese autor refiere que es una de las coberturas con mayor problema de confusión, ya que se suele clasificar como pastizal.

Cuadro IV.1.1-2. Grado de confiabilidad por clase evaluada, expresado como porcentaje del área del sitio de evaluación correctamente asignado a la clase evaluada.

CLASE	Sitios/clase	% de acierto promedio	CLASE	Sitios/clase	% de acierto promedio
SMSC (B y C)	3	97.39	AGTA	8	76.93
DESN	1	95.42	BP	3	75.20
BMM (A)	3	93.20	SBEhzch	8	70.36
AGUA	10	93.19	BPE	6	69.60
URB	5	92.24	TUL	3	68.97
PALM	1	89.36	BE (A)	11	66.10
MDR	3	89.33	MZQ	3	65.57
AGR	9	84.43	MSM	6	61.03
BT	2	81.28	AGTP	2	60.45
QUE	5	81.02	PZI	2	56.85
SBC (B y C)	10	79.23	PZC	2	52.51
MAN	1	78.24	SBCvs	1	51.19
SAMS (B)	4	76.99	GLOBAL	106*	76.24

Notas: (A) incluye BE/BMM; (B) incluye SAMS/SMSC/SBC; (C) incluye SMSC/SBC; * incluye los usados en 2 ó 3 evaluaciones. AGR= agricultura de riego; AGTA=agricultura de temporal, cultivos anuales; AGTP = agricultura de temporal, cultivos permanentes y semipermanentes; AGUA= cuerpo de agua; BE= bosque de encino; BMM= bosque húmedo (mesófilo) de montaña; BP= bosque de pino; BPE= bosque de pino/encino; BT= bosque de tásate; DESN= suelo desnudo; MAN= Manglar; MDR= matorral desértico rosetófilo; MSM= matorral submontano; MZQ= mezquital; PALM= palmar; PZC= pastizal cultivado; PZI (o pzi)= pastizal inducido; QUE= área clasificada como quemada; SAMS= selva alta y mediana subperennifolia; SBC= selva baja caducifolia y subcaducifolia; SBEhzch= selva baja espinosa (incluye huizachal); SMSC= selva mediana caducifolia y subcaducifolia; TUL= popal-tular; URB= áreas urbanas; vs= vegetación secundaria

En general, las principales confusiones entre tipos de cobertura fueron para las selvas caducifolias en etapas de sucesión, lo que se refleja en la cantidad con menos acierto de todas las clases evaluadas. Esto coincide con Couturier (2011), quien refiere este mismo resultado para esa clase, alcanzando un 39% de confiabilidad; señala haber encontrado las mayores superficies erróneamente cartografiadas para zonas de selvas tropicales secas (donde se confunde con bosques perennes de latifoliadas, aunque cita que Kalacska *et al.*, 2008, encontró confusiones con zonas agrícolas), así como zonas de encinares en conflicto con la clase “pastizal”; este último diverge con la confusión de ese bosque del presente trabajo, donde se encontró prácticamente la mitad de su extensión confundida con MSM, lo cual fue resuelto con la búsqueda apoyada en factores ecogeográficos.

Otras confusiones de clase se encontraron entre tipos de agricultura y de éstas con pastizales. Aunque la inconsistencia se resolvió durante el proceso, es necesario mencionar que los autores que han realizado análisis de imágenes MODIS para cartografía mexicana (Couturier, 2011; Cruz-López, *et. al*, 2011) se basaron en la producida por INEGI (2005). Por lo tanto, descartaron zonas agropecuarias, urbanas y cuerpos de agua (clasificados en dicha cartografía como “zonas de exclusión”), pero que al incluirlas en la clasificación de imágenes de este trabajo, mostraron superficies muy significativas de relictos de vegetación, aunque casi siempre con intervención humana; especialmente en las zonas agropecuarias.

Coberturas de vegetación en sucesión fueron confundidas con matorrales espinosos, y algunas de ellas se integraron a formar parte de la vegetación secundaria de la clase, en los casos de SBC o MZQ y para SBE se integraron directamente a este tipo, debido a la imposibilidad para diferenciarles entre sí. A este respecto, Couturier (2009) señala que

algunas características de estructura de la comunidad vegetal agregan dificultad a su clasificación, y se refiere específicamente al grado de fragmentación y de cobertura, que son precisamente una característica de los relictos de esta vegetación en la cuenca.

Por otra parte, el clasificador inicialmente etiquetó como áreas incendiadas a superficies inundables alrededor de cuerpos de agua, esto debido a que su tonalidad en la combinación de bandas 7-2-1 es espectralmente similar. Esta y las anteriores inconsistencias fueron resueltas durante el análisis con factores ecogeográficos. Especial atención fue necesaria con la confusión detectada con las áreas quemadas y algunas superficies de suelos. Cruz-López *et. al.* (2011), encontraron en su trabajo confusiones similares, por lo que combinaron el NDVI y el NBR para obtener sitios donde se esté generando un incendio.

En este trabajo se ajustó dos décimas positivas el valor que Cruz-López *et. al.* (2011) usaron en el NDVI, y que ellos mismos reconocen que subestima las áreas incendiadas. El primer factor de decisión para este ajuste fue que dichos autores buscaron una detección temprana de puntos de calor, para tomar medidas en donde se tengan altas probabilidades de que se esté generando un incendio en tiempo real; por lo tanto, los rangos que determinaron empíricamente son válidos sólo para lo que duren los factores que modifican los valores ópticos, especialmente la temperatura del pixel sobre el terreno, que retorna a niveles normales en poco tiempo después del evento. En el presente trabajo se necesitaba encontrar sitios que hayan sufrido un incendio en los últimos meses, y que aún presentaran las características que permiten que el sensor los detecte como tales, especialmente la cantidad de carbón en el suelo.

En segundo lugar, Cruz-López *et. al.* (2011) enfatizan que la relación de índices que proponen varía con las condiciones particulares de cada zona del país, así como con las condiciones estacionales. La imagen analizada en este trabajo para clasificar las áreas quemadas data del 30 de octubre de 2011 (Figura IV.1.1-1); por ello presenta un alto índice de verde, dado por las condiciones de humedad recibida durante el verano, así como el otoño suave de la zona, que no cambia las condiciones fenológicas de verdor en la vegetación sino hasta principios de invierno. Finalmente, el ajuste se hizo con dos décimas porque el nivel 0.4-0.5 clasifica solamente una porción de zonas urbanas, y el cambio real sólo se daría al subir al siguiente nivel la búsqueda.

Con esta evaluación se obtuvo que el 82.45% de las áreas clasificadas como zona quemada se encuentra correctamente cartografiado. Al resto de la superficie no fue posible asignarle una clase adecuada, por lo que se contabilizó dentro de esta clase. Por medio de este trabajo sólo es posible inferir que, al ubicarse en las inmediaciones de sitios quemados, se trata de suelos probablemente afectados por el incendio, y que presentan una combinación de vegetación afectada en proceso de recuperación, con niveles de producción de clorofila significativamente alto.

La significativa superficie afectada por incendios es producto de la fuerte sequía que afectó la región y varios estados del territorio mexicano en 2011. Este fue reconocido por autoridades gubernamentales como el de mayor intensidad en las últimas siete décadas (CONAGUA 2012, en prensa: <http://eleconomista.com.mx/sociedad/2012/01/22/mexico-umbral-sequia-historica>).

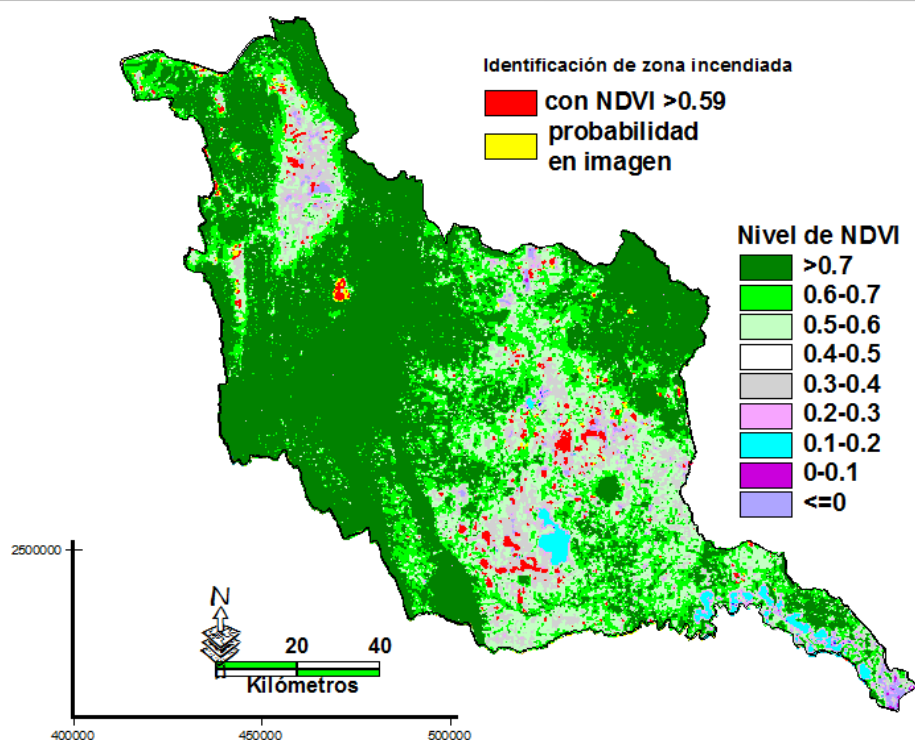


Figura IV.1.1-1. Niveles de NDVI y zonas incendiadas en la imagen MODIS 2011303 del satélite Terra, correspondiente al 30 de octubre de 2011 (elaboración propia con datos de NASA/GSFC).

Los efectos de este fenómeno atípico causaron tal nivel de estragos en las actividades económicas primarias, que la zona fue declarada en “Desastre Natural Perturbador en el Sector Agropecuario, Acuícola y Pesquero”, abarcando en la cuenca los municipios de Antiguo Morelos, Bustamante, Casas, El Mante, Gómez Farías, González, Güémez, Llera, Miquihuana, Ocampo, Palmillas, Tula y Victoria (SEMARTNAT, 2012).

CONAGUA (2012, en prensa: <http://eleconomista.com.mx/sociedad/2012/01/22/mexico-umbral-sequia-historica>) señala que 2010 fue “el año más lluvioso de que se tenga registro”. Es así que la temporada de lluvias se presentó bien distribuida durante febrero y octubre, e incluyó el paso del huracán Alex (30 de junio-2 de julio). Esta humedad, aunada a un mantenimiento de temperaturas por debajo de 40°C permitió la disminución de incendios forestales (CONAFOR, en prensa: <http://www.gaceta.mx> del 17/09/2010).

A su vez, estas condiciones favorecieron que 2010 fuese el año con menores ISS del periodo de análisis, y como todos estos factores evitan que la atmósfera presente altas cantidades de bruma, nubosidad y formación de tolvaneras, fue el que mayores días completamente despejados se presentaron en toda la cuenca. Este fue el año que se obtuvieron mayor número de imágenes para el análisis.

No obstante, es necesario aclarar que no se cuenta con argumentos suficientes como para encontrar una relación entre cierta combinación de factores atmosféricos con la cantidad de imágenes totalmente despejadas y su disponibilidad para estudio. Esto porque, al contrario que 2010, como ya se mencionó el 2011 fue extremadamente seco, y a pesar de las condiciones prácticamente contradictorias fue el segundo con más imágenes colectadas para este análisis.

Expuestas estas consideraciones, a continuación se describe cada imagen clasificada.

Imagen CIs2006034Aq

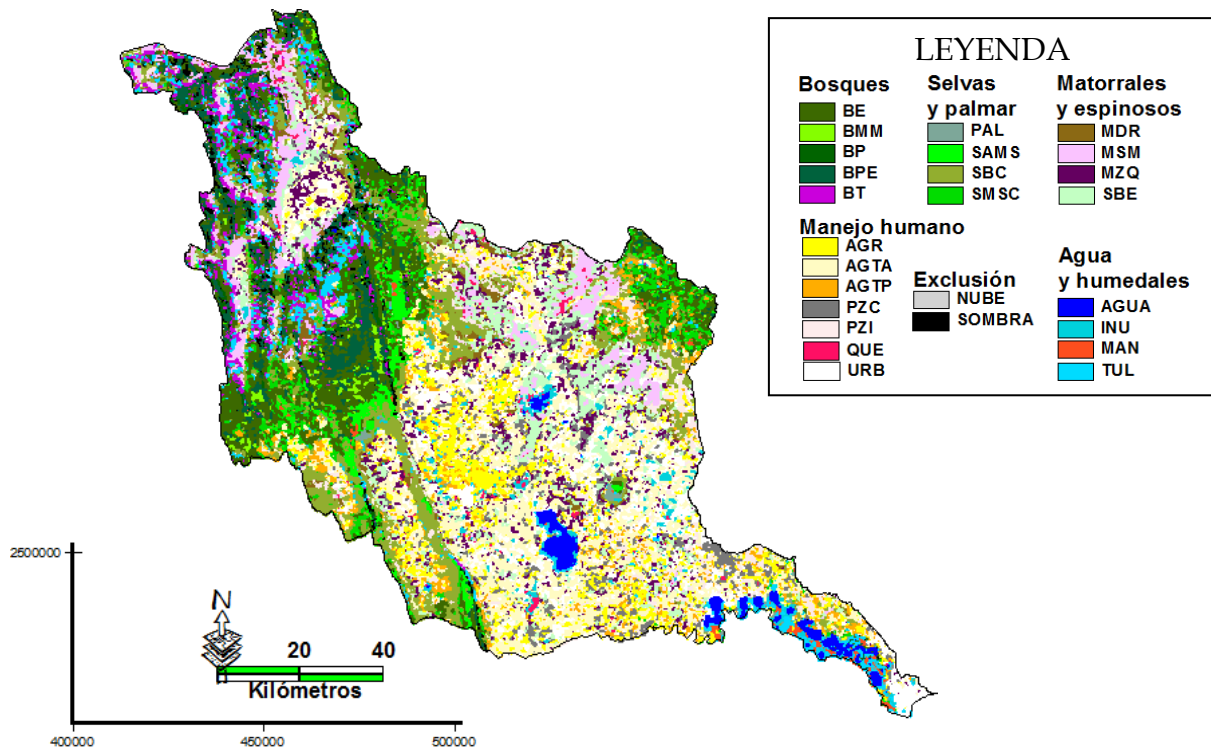


Figura IV.1.1-2. Clasificación supervisada de la imagen MODIS 721 Aqua, correspondiente al 3 de febrero de 2006.

Esta imagen (Figura IV.1.1-2) corresponde a la mitad del invierno, por lo que las condiciones de sequía estacional permiten un terreno totalmente despejado de nubosidad. Se encuentra totalmente despejada y la precipitación acumulada desde el 1 de diciembre de 2005 a esa fecha es de 28.6 mm (en Tampico, la estación de la cuenca disponible en <http://www.wunderground.com>). Por su parte, el NADM (2012) reporta una condición del Índice de Severidad de Sequía (ISS) de -0.984, clasificado dentro del rango “condiciones normales”.

El archivo digital de origen presenta un nivel poco significativo de *pixelaje*, y al provenir del satélite Aqua, presenta algunas sombras en las partes expuestas a sotavento del macizo de la Sierra Madre. Es probable que por las mismas razones muestre una inconsistencia en la clasificación, al asignar clases de humedales como inundable (INU) o Manglar (MAN) a sitios de dicha sierra, casi todos asociados con las áreas sombrías.

Es evidente además la zona que el clasificador asigna como SBC, situada en las bajadas de la sierra del noreste del valle de Jaumave. Además, algunas extensiones de la Sierra de Tamaulipas son confundidas con Agricultura de Temporal.

La distribución del resto de las coberturas es correcta, destacándose ya las diferencias marcadas con el inventario de la UNAM (2000) y la Serie III de INEGI respecto a la de las selvas altas y medianas en las sierras de Tamaulipas y de Cucharas; así como con los bosques del extremo noroeste de la cuenca especialmente, que son sensiblemente menores a los reportados por esos organismos.

Imagen CIs2006360trr

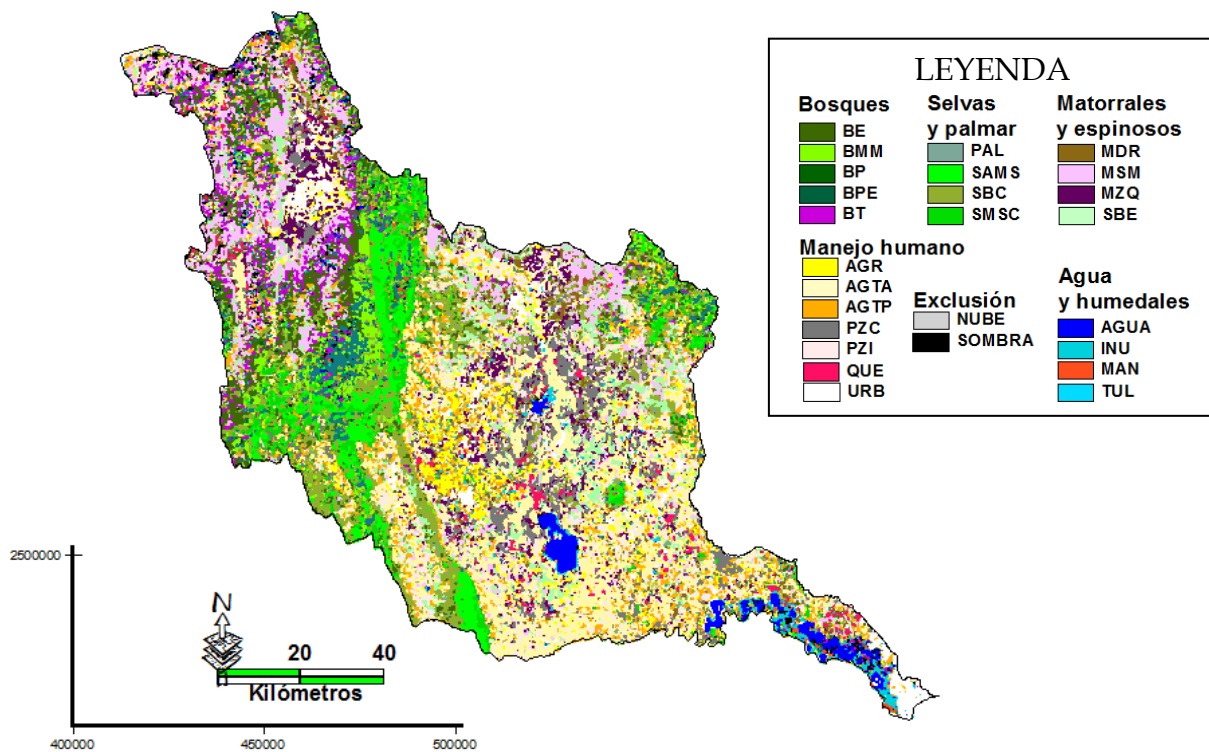


Figura IV.1.1-3. Clasificación supervisada de la imagen MODIS 721 Terra, correspondiente al 17 de diciembre de 2006.

2006 fue considerado por [NADM \(2012\)](#) un año de sequía nivel “suave”, por lo que para la fecha de la imagen (Figura IV.1.1-3), ya entrado el otoño el ISS se encontraba dentro de las condiciones de humedad “incipiente” (0.737). La precipitación acumulada desde noviembre a la fecha de la toma fue de 1073.92 mm (<http://www.wunderground.com>), y aunque es una imagen de condiciones con humedad moderada, no presenta ninguna nube.

Comparado con la imagen anterior, la actual proviene del satélite Terra, por lo que los sitios de umbría son poco significativos, al igual que las inconsistencias de humedales mal clasificados sobre zonas montañosas.

Destacan las sierras de Talamave, de El Abra y el Cerro del Bernal, ya que al ser una época con cierta humedad, su cobertura vegetal se clasifica como SAMS y SMSC. Así mismo destaca la zona de las montañas de Jaumave-Miquihuana, con una ausencia significativa de píxeles que indiquen zonas boscosas, pero con presencia de sombras (y algunos píxeles de humedad asociados), así como sitios que han sido afectados por incendios. Estos destacan también en sitios centrales de la cuenca, así como las zonas de AGTA de Altamira.

Las zonas con pastizal inducido, PZI, aparecen asociadas a sitios dentro de las regiones de agricultura de temporal, así como a los sitios montañosos degradados, de donde sobresalen las montañas altas de Jaumave y Miquihuana, así como las zonas menos onduladas de la Sierra de Tamaulipas.

Imagen CIs2007049trr

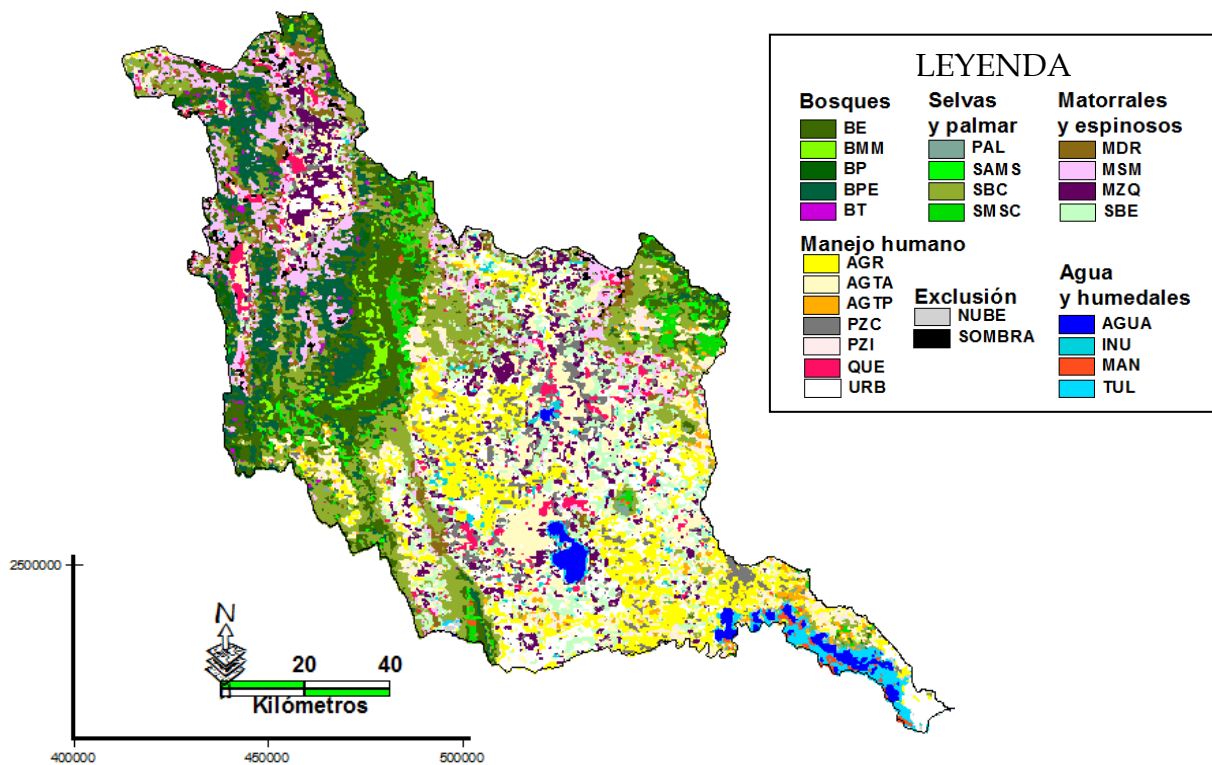


Figura IV.1.1-4. Clasificación supervisada de la imagen MODIS 721 Terra, correspondiente al 18 de febrero de 2007.

Como es evidente al observar, esta imagen (Figura IV.1.1-4) presenta problemas de “pixelaje” desde el archivo de origen, así como unos “relictos” de nubes al sur de Antiguo Morelos (menos de 1% de cobertura). No obstante, se incluyó en la evaluación debido a que es la única que pudo descargarse sin fallos para el año 2007. Ahora bien, para el proceso general, y debido a la escala media de trabajo, no representa problemas mayores que cuando se trabaja con datos de menor resolución espacial (como algunos de los otros factores ecogeográficos utilizados).

La imagen fue colectada a mitad del invierno, habiendo recibido una precipitación acumulada de 1,073.92 mm, desde enero y hasta el día de colecta (<http://www.wunderground.com>). El ISS de NADM (2012) para enero y febrero de ese año fue de 0.788 y 0.849 respectivamente, dentro de un año con condiciones “normales” tendiendo a humedad incipiente.

Es notorio aquí que en la zona del DDR-092 se clasifica AGR y no AGTA como en las imágenes anteriores, debido a la presencia de cultivos en fases de pre-cosecha. Destacan también zonas que en la imagen se identifican como suelos incendiados. De especial consideración son los de los valles de Palmillas, el de Jaumave y otros valles altos; no obstante, el Atlas de Riesgos de Tamaulipas (PrCivTam, 2011) no identifica incendios asociados. No fue posible identificar los factores de confusión, y como el algoritmo de clasificación para identificar la cobertura del suelo ignora esta clase en todas las imágenes excepto en la última, este tipo de confusión fue dejado sin resolver.

Se presentaron algunas confusiones de MAN en la sierra de Nogales, la de Cucharas, así como en el sistema Lagunar del Tamesí, sobre extensiones de tulares. El resto de coberturas se clasificó correctamente.

Imagen CIs2008144trr

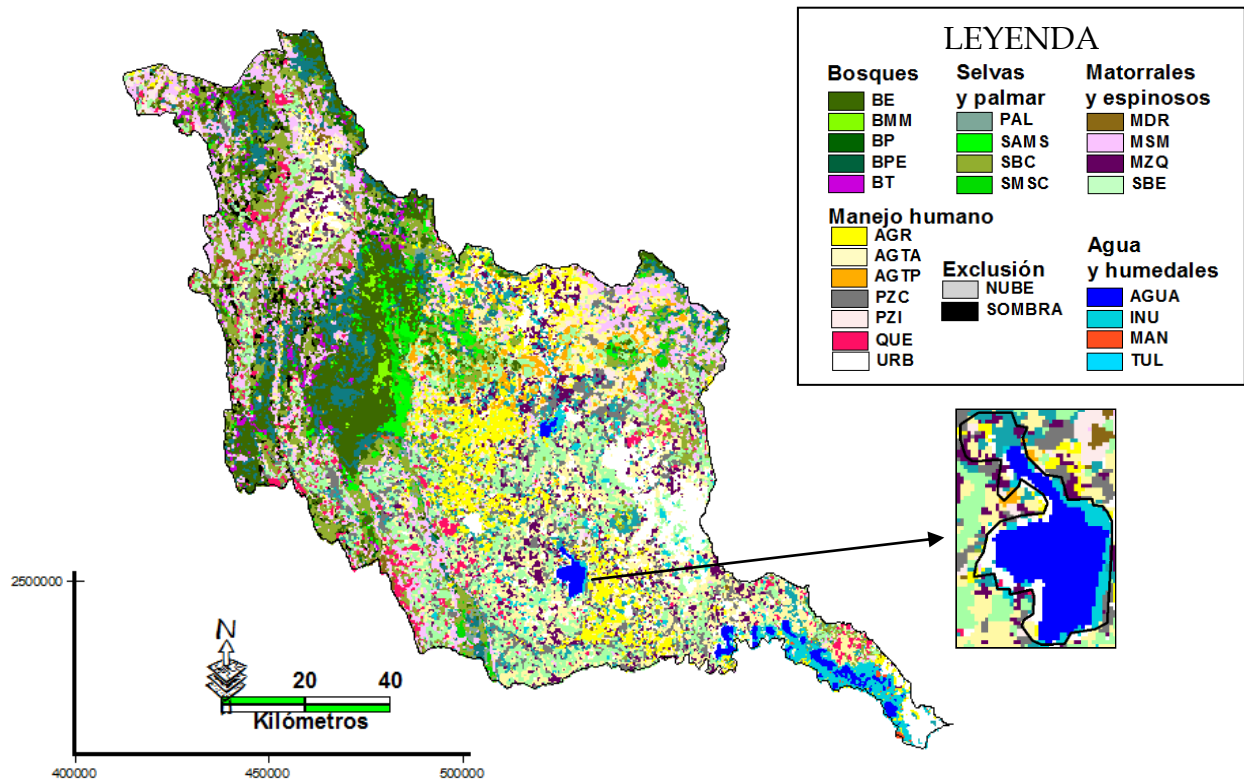


Figura IV.1.1-5. Clasificación supervisada de la imagen MODIS 721 Terra, correspondiente al 23 de mayo de 2008. En el inserto, la presa R. Caballero, con un decremento importante en el espejo de agua.

Esta imagen (Figura IV.1.1-5) corresponde al mes más seco de 2008, con un ISS de -1.464, que lo clasifica como sequía “suave”, dentro de un año de condiciones normales (NADM, 2012). Esto es congruente con la precipitación acumulada que se registró en Tampico, para los dos meses anteriores a la fecha de toma fue de 123.18 mm (<http://www.wunderground.com>). Como consecuencia de esto, lo más notorio en la imagen es el aumento en los suelos desnudos alrededor de la localidad de González.

Un evento destacable en la imagen es que, habiendo transcurrido quince meses después de la imagen anterior, disminuye drásticamente el espejo de agua en la presa R. Caballero. Se observa vegetación oportunista en el suelo expuesto, que el clasificador detecta como mezquitales, pastizales y AGTA. Los siguientes meses recuperó y disminuyó su volumen, y un año después la reportó con un 34% de su capacidad (CONAGUA, 2009, citado por NotiMex, 2009, en prensa: <http://www.allbusiness.com/16444780-1.html>).

Otra situación evidente es una “matorralización” con MSM (color lila en la imagen) de las zonas montañosas bajas y con SBE (que incluye huizachal, verde aqua en imagen) en gran parte de la cuenca. Esto se debe por un lado a que el estrés hídrico y las altas temperaturas han impedido el brote de hojas en las selvas caducifolias y en los matorrales; y por otro, muy posiblemente a que el sensor detecta el verdor de los elementos espinosos de las selvas caducifolias, especialmente de las más intervenidas, clasificándolas como SBEhzh.

Imagen CIs2008347trr

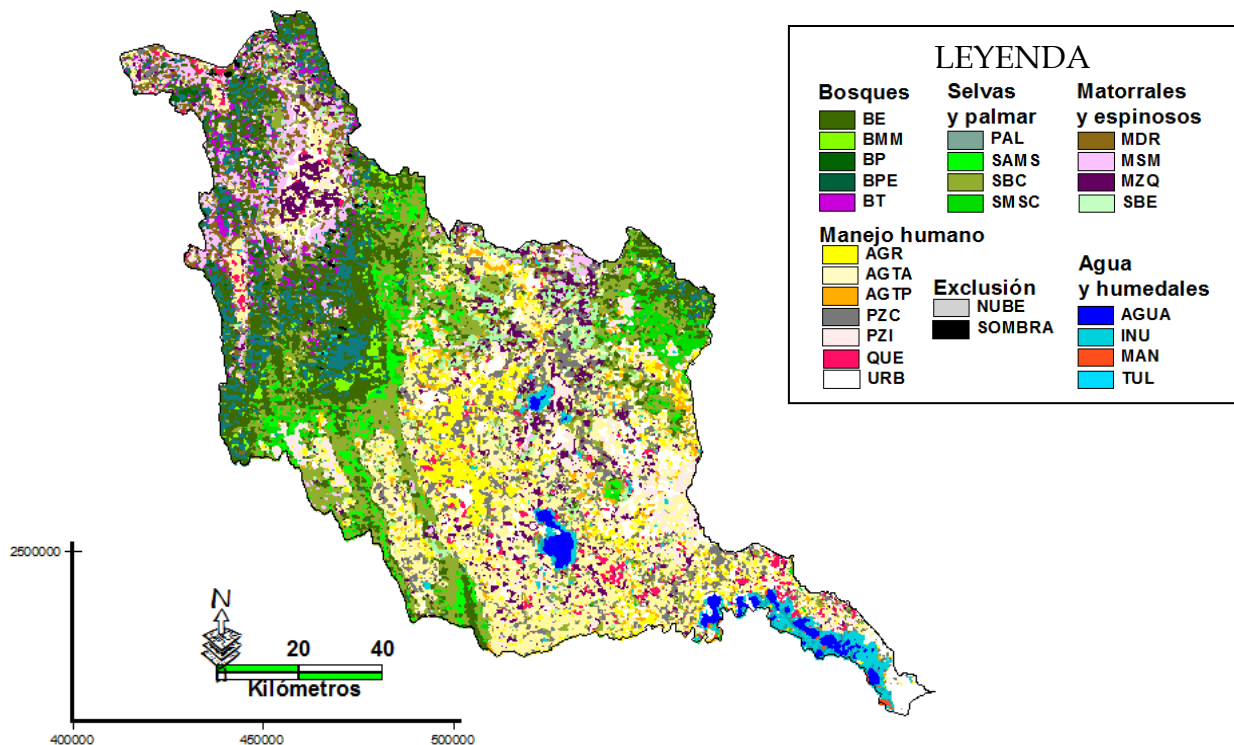


Figura IV.1.1-6. Clasificación supervisada de la imagen MODIS 721 Terra, correspondiente al 12 de diciembre de 2008.

Aunque la Figura IV.1.1-6 muestra otro archivo con problemas leves de *pixelaje*, puede notarse con claridad que, con respecto a la imagen anterior, se hace evidente el aumento en los cuerpos de agua y el periodo frondoso de las SBC y SMSC, producto de las lluvias estivales y principios de otoño (1,446.43 mm en octubre y noviembre, según wunderground.com). Las condiciones de sequía son normales, con un ISS de 0.255 (NADM, 2012).

Al tratarse de una imagen Terra, no muestra problemas considerables por sombras, excepto hacia el norte de Ávila y Urbina. Tampoco presenta nubes ni bruma.

En cuanto a las inconsistencias, resalta el área circunvecina de la presa Emilio Portes Gil, que se debe no tanto a la clase (correctamente asignada como INU), sino a la distribución espacial, que “suaviza” la forma irregular de la laguna; esto es, sin duda, efecto del *pixelaje* en el archivo de origen. Así mismo, muestra zonas de SBE confundidas con mezquital, así como una importante superficie de agricultura temporal, tanto en régimen permanente como en anual, situada en el valle de Ocampo, y que clasificó erróneamente como pastizal inducido. Algunos sitios de selvas bajas y medianas son confundidos con SAMS, como en las sierras de Cucharas y Talamave, así como en el cerro del Bernal.

Imagen CIs2009093trr

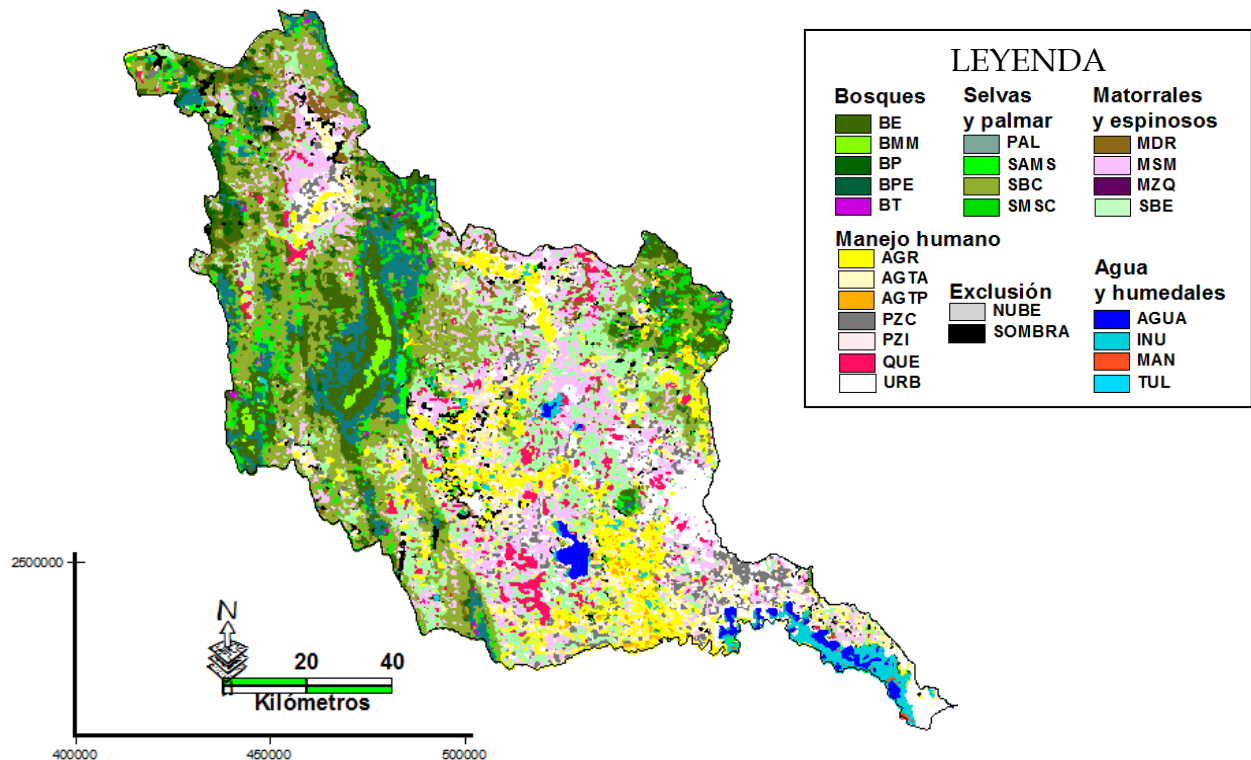


Figura IV.1.1-7. Clasificación supervisada de la imagen MODIS 721 Terra, correspondiente al 23 de abril de 2009.

Esta imagen (Figura IV.1.1-7) es la de peor calidad de las analizadas en este trabajo, ya que además de nubes y sombras, presenta el problema más serio de *pixelaje* en la colección. No obstante, no presenta bruma, y al ser la única disponible de 2009, se decidió aceptar para su análisis. A pesar de estos problemas, la imagen denota una correcta ubicación de las áreas agrícolas, las selvas bajas espinosas, cuerpos de agua y zonas desprovistas de vegetación.

CONAGUA (2012, en prensa: <http://eleconomista.com.mx/sociedad/2012/01/22/mexico-umbral-sequia-historica>) reporta que el 2009 año fue el tercero en intensidad de sequía registrada en 70 años hasta 2011 que fue el de mayor intensidad; esto se refleja en el valor del ISS de la captura de la imagen es de -1.691, también el tercero más intenso de la serie analizada, después de dos imágenes de 2011.

Las mayores inconsistencias fueron en SBC, que confunde con matorrales y algunas zonas boscosas de las sierras del Altiplano. Además, asigna la clase BPE a sitios con bajas altitudes (como las sierras de Cucharas y de Talamave), y que en la cuenca no se concurren factores ecogeográficos suficientes para permitir la existencia de este bosque a esas altitudes. De forma similar, localiza erróneamente selvas perennifolias en sitios de bosques templados en las montañas del altiplano. Un resultado similar obtuvo Couturier (2011), quien encontró que en las clasificaciones del producto MOD12Q1 el algoritmo asigna como bosques deciduos o de coníferas a perennes de latifoliadas, señalando que de esta forma, clasifica las masas arboladas como este último.

Imagen Cls2010119aq

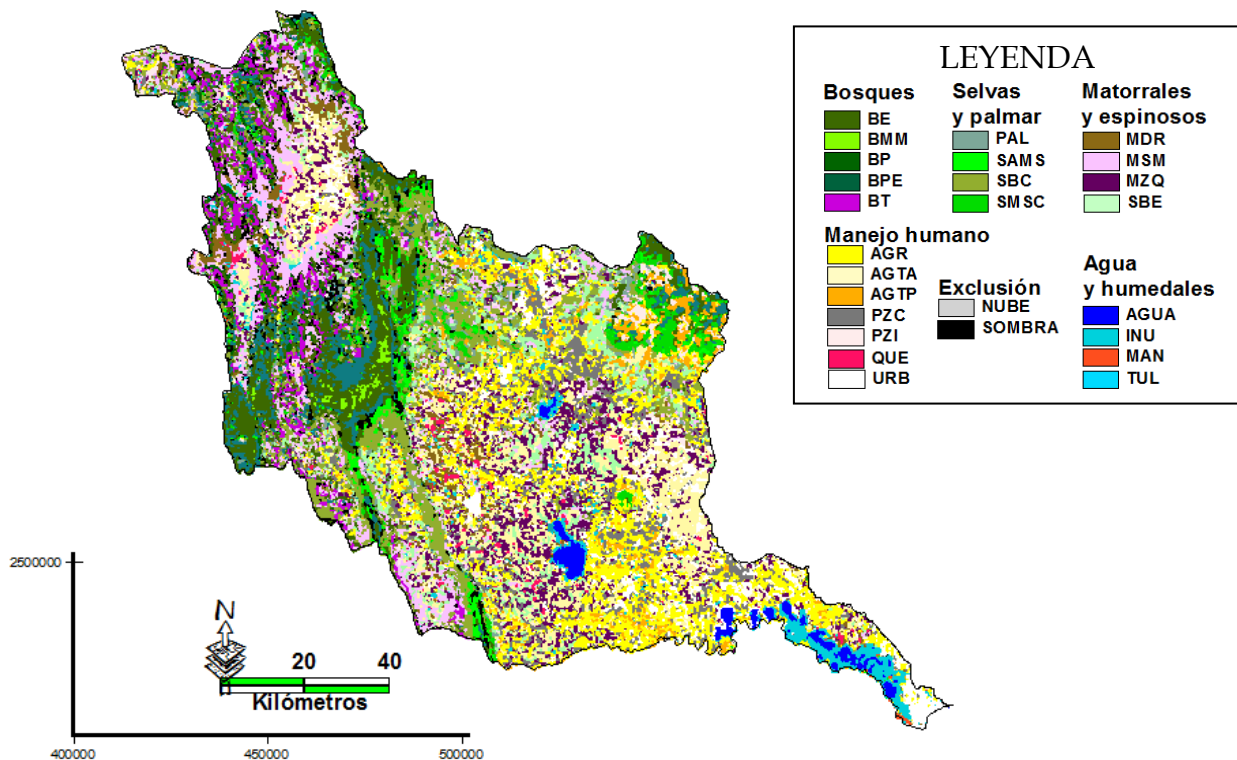


Figura IV.1.1-8. Clasificación supervisada de la imagen MODIS 721 Aqua, correspondiente al 29 de abril de 2010.

La sequía pronunciada del 2009 finalizó en febrero de 2010 con lluvias que permitieron la siembra de temporal, que se hace evidente en la imagen de la Figura IV.1.1-8, especialmente en el valle de Jaumave y en el DDR de González. Desde marzo, y hasta la fecha de la imagen se acumularon 185.67 mm de lluvia (<http://www.wunderground.com>), produciendo condiciones moderadas de humedad, registradas por un ISS de 1.864 (NADM, 2012).

De la misma forma, es evidente el crecimiento de los cultivos en el DR092 de Mante-González, en contraste con la confusión que la zona cañera Mante-Xico presenta con zonas quemadas, mezquiales y pastizales inducidos, lo cual indica la temporada de zafra. Otra confusión con zonas agrícolas se da en la Sierra de Tamaulipas, donde las SBC se confunden con agricultura con cultivos permanentes, coincidiendo con lo que sucede como en Costa Rica (Kalacska *et al.*, 2008, reportado por Couturier, 2009).

Por otra parte, los matorrales submontanos salen de su distribución “acompañados” por el bosque de táscate, hacia la porción suroeste de El Cielo, así como al sur de Antiguo Morelos.

Problemas de sombras se notan en diferentes porciones serranas, al tratarse de una imagen obtenida del satélite Aqua. Lo cual no es impedimento para que el resto de las coberturas se encuentren con una ubicación significativamente acertada.

Imagen Cls2010126aq

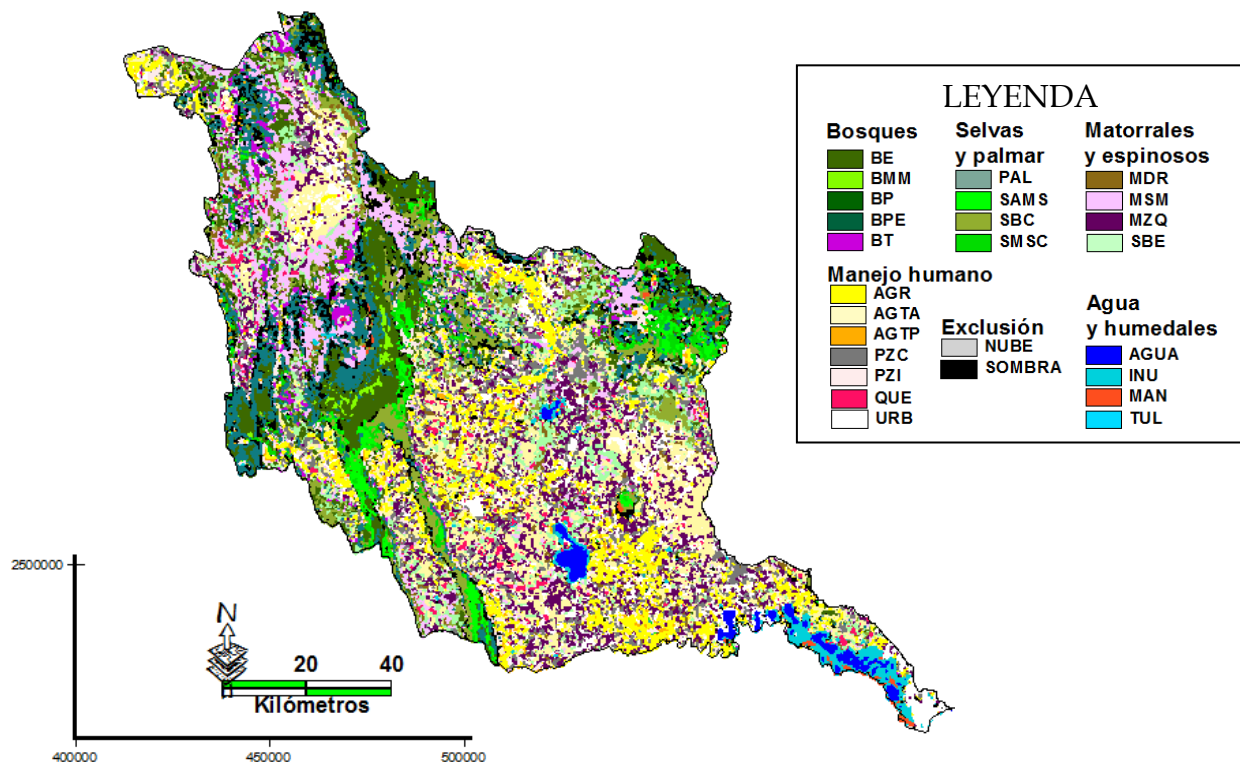


Figura IV.1.1-8. Clasificación supervisada de la imagen MODIS 721 Aqua, correspondiente al 6 de mayo de 2010.

Con una semana de diferencia con la anterior, y sin haber recibido mayores cantidades de lluvia (con sequía suave de 1.199 de ISS), la imagen de la Figura IV.1.1-8 muestra más claramente el contraste entre zonas agrícolas con cultivos en crecimiento y las que se encuentran sin cultivo o con posibilidades de abandono (y que el clasificador identifica como MZQ o SBE).

Aunque esta imagen no tiene problemas de nubes ni de pixelaje, al provenir, al igual que la anterior, del satélite Aqua, presenta importantes sitios de confusión con áreas sombreadas. Normalmente, las zonas de umbría reflejadas en las imágenes vespertinas de Aqua, se sitúan hacia las partes orientales de las sierras con escarpe pronunciado. Por lo tanto, las zonas que están siendo confundidas en esta imagen particular se ubican en todos los casos en sitios inferiores de montaña, lo que podría estar indicando vegetación húmeda.

Otra inconsistencia en la imagen es similar a la de abril de 2009, en que el clasificador asigna bosques de pino y encino a zonas de baja altitud, donde no se dan las condiciones para esta mezcla de bosque. Resaltan también importantes superficies de zonas agrícolas clasificadas como mezquital, siendo posible que indiquen zonas no cultivadas con crecimiento temprano de huizache u otros arbustos espinosos de rápido crecimiento en la región, como *Acacia cornígera* y *Pithecellobium dulce*, acompañados de pastos y otras oportunistas. Así mismo, por la etapa fenológica de algunos cultivos estacionales, se confunden con sitios de riego, o zonas de crecimiento de vegetación secundaria en Miquihuana.

Imagen CIs2010156trr

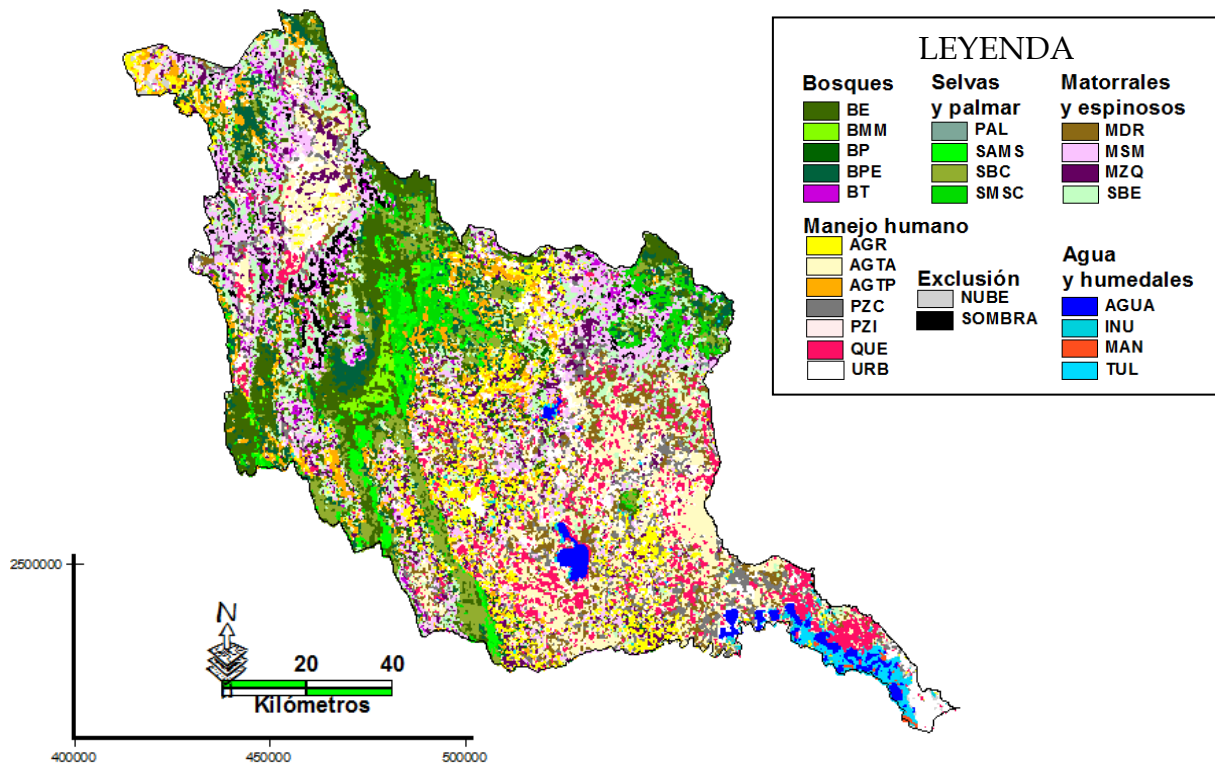


Figura IV.1.1-9. Clasificación supervisada de la imagen MODIS 721 Terra, correspondiente al 5 de junio de 2010.

La imagen más “estival” que pudo obtenerse con un mínimo aceptable de nubes (menos de 1% cerca de La Marcela) se muestra en la Figura IV.1.1-9, adquirida a fines de primavera, pero que para la región ya es verano dos semanas antes del solsticio. En Tampico, para la fecha la mayor parte del tiempo las temperaturas máximas han estado superando 30 y 35°C, y no se han acumulado más lluvias desde la fecha anterior.

Se han cosechado gran parte de los cultivos estacionales, y la mayoría de la superficie cañera se encuentra en crecimiento después del periodo de zafra. Otras tierras agrícolas han quedado como suelos desnudos que, por su coloración oscura y alto contenido arcilloso, son confundidos por el clasificador con zonas quemadas. Destaca en este caso la región de Altamira y la zona Temporalera, con suelos de tipo Vertisol Pélico. Esas mismas en la imagen anterior aparecían clasificadas como mezquital, por lo tanto es probable que la vegetación oportunista ya no aparezca aquí por la preparación del suelo para el ciclo otoño-invierno.

Los cultivos estacionales no cosechados se confunden con los permanentes en Ocampo, El Encino, Llera y en los alrededores de La Marcela; en este último sitio, la vegetación secundaria de matorrales rosetófilos también es confundida con cultivos de riego y con permanentes.

Aunque ciertos problemas de umbría se presentan en las montañas del oriente del Valle de Jaumave, el resto de las coberturas ha sido clasificado satisfactoriamente.

Imagen Cls2010309trr

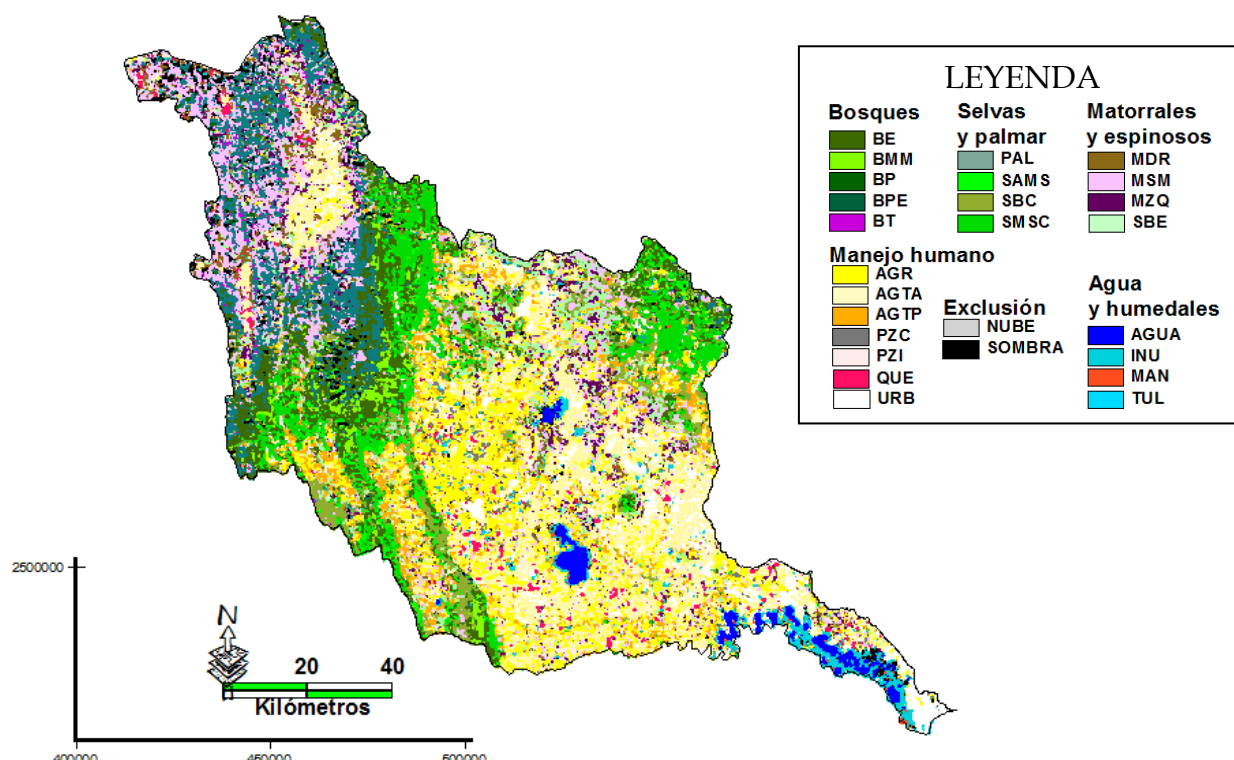


Figura IV.1.1-10. Clasificación supervisada de la imagen MODIS 721 Terra, correspondiente al 5 de noviembre de 2010.

Las lluvias dejadas por paso del huracán Alex (junio 30 a julio 2) beneficiaron los cultivos estacionales, y el reverdecimiento de matorrales y selvas secundarias, lo cual se refleja en la imagen con escaso suelo, reemplazado en su mayoría por clases de agricultura. Esto es notorio en la presente imagen (Figura IV.1.1-10), a pesar de que casi no se han presentado lluvias desde fines de septiembre (<http://www.wunderground.com>). Las temperaturas más suaves permiten que el ISS (NADM, 2012) sea de 0.424, clasificado como “normal”.

Otro aspecto destacable es el aumento de las clases de selvas altas y medianas, que el clasificador confunde debido al reverdecimiento de las selvas bajas y medianas caducifolias. Este mismo efecto presentan los bosques mixtos de pino-encino respecto a los de encino, y que además desplazan por completo la distribución de bosque de táscate. Igualmente ocurre con los matorrales submontanos respecto a los desérticos rosetófilos, comportándose también desplazando al bosque de táscate.

Algunos problemas de clasificación de sombras se presentan en las sierras altas, que confunde también con algunos tulares en la región de Altamira. Pero en general, la distribución de coberturas naturales con respecto a las agropecuarias, urbanas y cuerpos de agua son bastante aproximadas con la distribución final encontrada.

Imagen Cls2010338aq

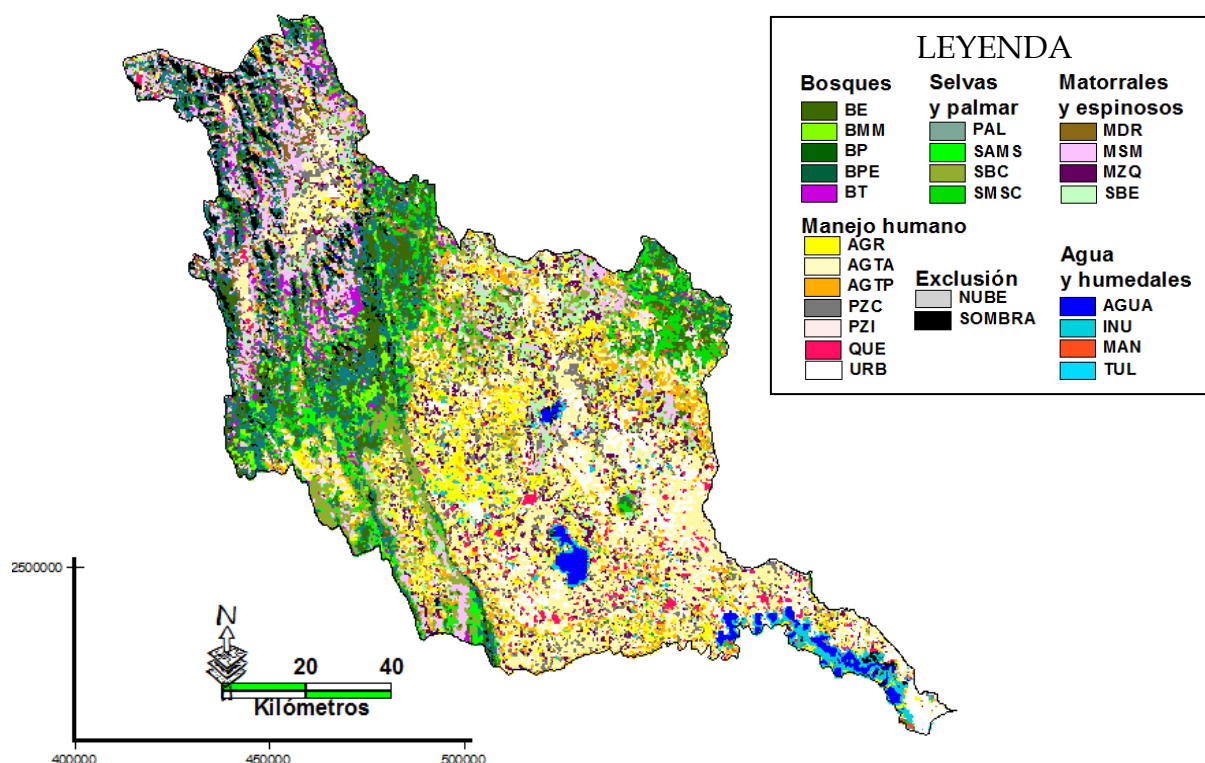


Figura IV.1.1-11. Clasificación supervisada de la imagen MODIS 721 Aqua, correspondiente al 4 de diciembre de 2010.

A pesar de las excelentes condiciones de nitidez y claridad de esta imagen (Figura IV.1.1-11), al tratarse de una toma desde el satélite Aqua, presenta sombras en las cordilleras más escarpadas. Esto es probablemente el origen de que se esté confundiendo el BPE con selvas y bosques más cálidos y de sitios menos altos; la misma razón puede haber en la ubicación errónea del bosque de Táscate en **El Cielo** y en la parte norte del Valle de Jaumave.

Hasta la fecha, no ha vuelto a llover en la zona, pero las temperaturas más frescas evitan altas tasas de evaporación, por lo que la cobertura vegetal sigue siendo turgente. La falta de lluvias se refleja en la caída del ISS que en un mes desde la imagen anterior, cayó más de un punto, llegando a -0.431.

Se nota el reverdecimiento de los sembradíos de caña, así como el crecimiento incipiente de cultivos y vegetación oportunista en el DDR 092 de Las Ánimas, que sustituyen a los suelos desnudos en la anterior imagen.

Otras inconsistencias en asignación de clases son los matorrales submontanos confundidos con bosque de encino, como en **El Cielo**, así como la ubicación errónea de manglar en zonas serranas.

Imagen CIs2010343Aq

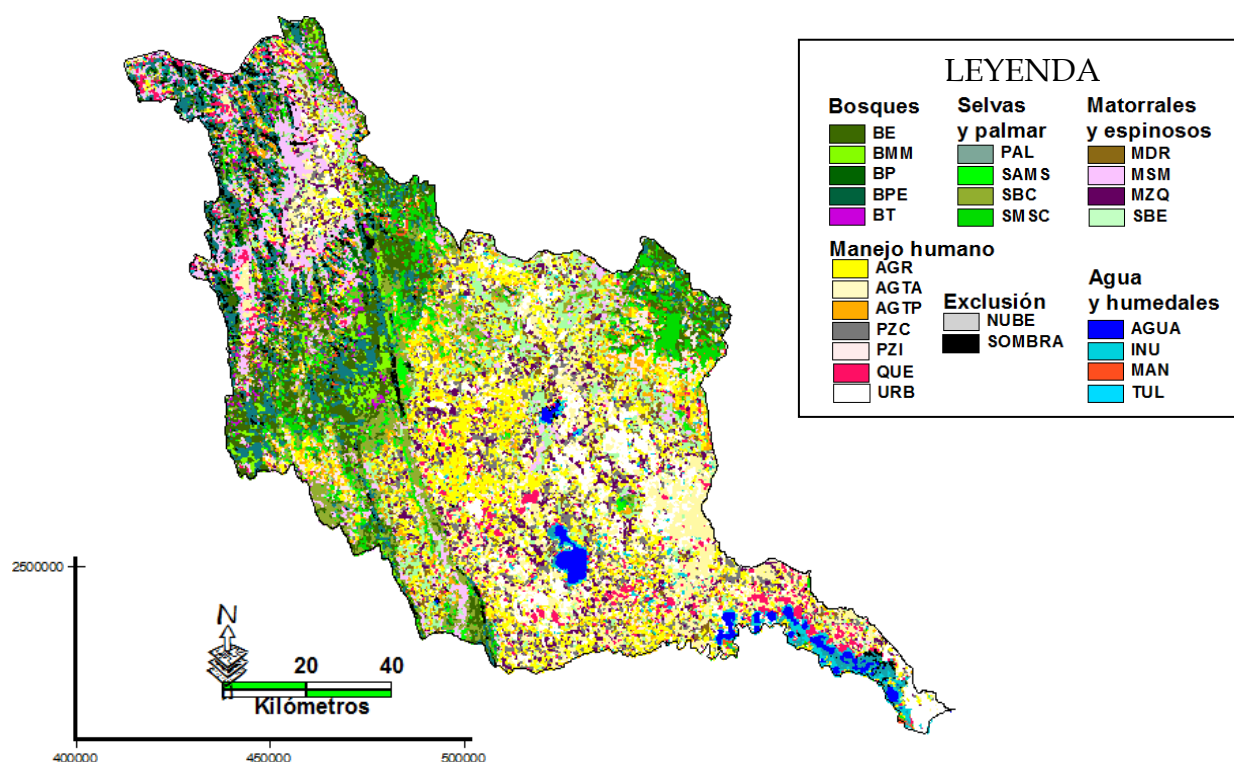


Figura IV.1.1-12. Clasificación supervisada de la imagen MODIS 721 Aqua, correspondiente al 11 de diciembre de 2010.

Una semana después de la imagen anterior, se obtuvo esta otra (Figura IV.1.1-12), con características similares en cuanto a problemas de sombras, por provenir del mismo satélite. Tampoco se ha recibido precipitación alguna, por lo que las condiciones de sequía aún no han variado significativamente. No obstante, como afirma CONAGUA (2012, en prensa: <http://eleconomista.com.mx/sociedad/2012/01/22/mexico-umbral-sequia-historica>), ha comenzado lo que sería una de las peores sequías que se hayan registrado en la región.

Como sucede en otras imágenes con condiciones secas (2007049, 2008144 y 2009093), en esta comienza a notarse el evento que se avecina porque los matorrales del Altiplano y sus montañas comienzan a presentar confusión con selvas caducifolias y subperennifolias. Al mismo tiempo, aparecen confusiones de sitios de umbría en las zonas montañosas con humedales como manglar o tular.

Es útil señalar que, aunque podría parecer poco importante de momento, en la parte norte de la presa R.C.D., el espejo de agua ganado por el paso del huracán Alex comienza a perder volumen; ahora el clasificador lo tipifica como inundable. Al mismo tiempo, en las llanuras de la cuenca media los mezquitales comienzan a “invadir” zonas agrícolas en general, mientras que los suelos Vertisoles de agricultura de temporal comienzan a quedar expuestos (y que el clasificador confunde con zonas quemadas).

Las zonas de riego de caña comienzan a tomar vigor, en paralelo a la disminución del DR092a, donde algunos cultivos de otoño-invierno han comenzado a cosecharse. El resto de las coberturas naturales y antrópicas han sido correctamente clasificadas.

Imagen CIs2011067aq

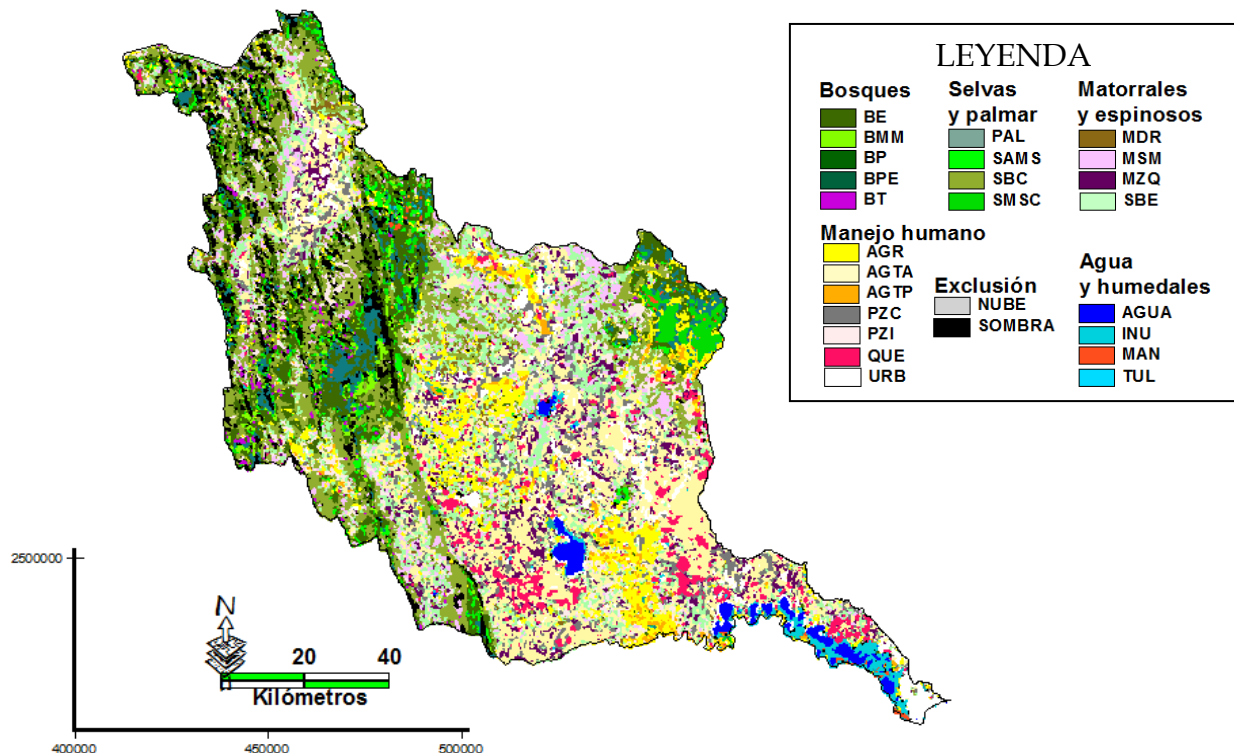


Figura IV.1.1-13. Clasificación supervisada de la imagen MODIS 721 Aqua, correspondiente al 8 de marzo de 2011.

En la presente imagen (Figura IV.1.1-13) la sequía ya es evidente, y permanece sin lluvias registradas en Tampico (<http://www.wunderground.com>). Se alcanzó un ISS en el mes de febrero de -1.76, que a finales de marzo cayó a -2.014, pasando de suave a moderada (NADM, 2012). Autoridades gubernamentales reportaron que esto impidió la siembra 48 mil hectáreas de temporal en municipios como Altamira, Aldama, González, Mante y Xicoténcatl (González, 2011, en prensa: Notimex en <http://sdpnoticias.com>, del 29 de mayo). Esto se hace evidente en la imagen por las zonas desprovistas de vegetación que el clasificador registra como sitios quemados, y que pertenecen a los suelos Vertisoles aprovechados en agricultura de temporal.

Por otra parte, la combinación de sequía con las heladas registradas en la primera semana de febrero siniestraron cultivos que sí se alcanzaron a sembrar (González, 2011, en prensa: Notimex en <http://sdpnoticias.com>, del 29 de mayo), al tiempo que los ecosistemas más tropicales perdían por congelamiento gran parte de su follaje. Esto último aún no es evidente en la imagen, contrario a lo que sucede con las pérdidas agrícolas que se suman a las ya descritas. Es evidente también el crecimiento exitoso de los cultivos en régimen de riego.

La asignación incorrecta de selvas bajas y medianas en las montañas altas del altiplano, que caracteriza las imágenes en sequía, ha reemplazado totalmente a las clases de matorrales propios de esa zona. Finalmente, se aclara que el problema de sombras es el mismo que se presenta en las imágenes provenientes del satélite Aqua.

Imagen CIs2011102trr

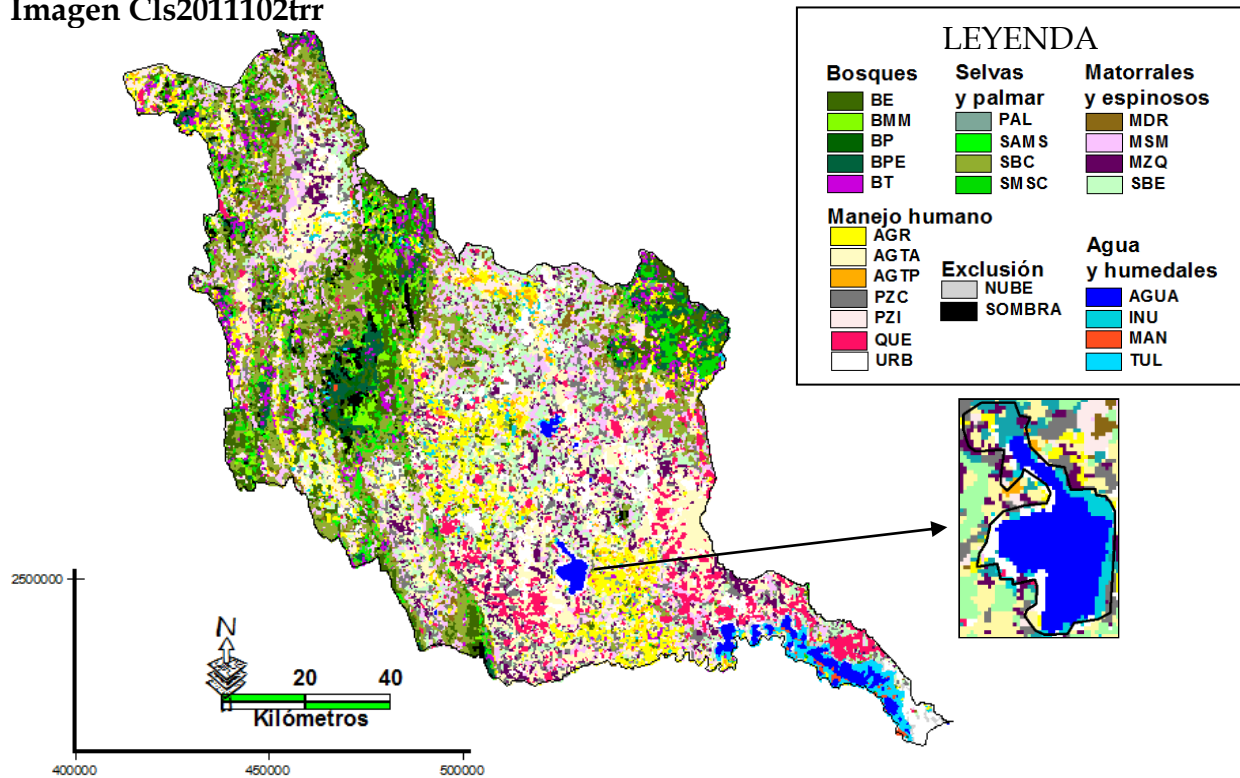


Figura IV.1.1-14. Clasificación supervisada de la imagen MODIS 721 Aqua, correspondiente al 12 de abril de 2011. En el inserto, la presa R. Caballero, con un decremento importante en el espejo de agua.

Esta imagen (Figura IV.1.1-14) presenta una excelente calidad en cuanto a su ausencia de nubes, nitidez y contraste. Es la captura con rasgos de mayor sequía de la colección analizada, que no registra lluvias aún y presenta un ISS de -2.6 a fin de mes, de un nivel moderado. Aunque en la coloración por clases no es notorio, la sequía y la helada han dañado gravemente los ecosistemas tropicales y/o caducifolios, que se encuentran totalmente defoliados y siendo propensos a ser afectados por incendios (36 desde enero, según <http://www.campotamaulipas.gob.mx/>).

No se ha alcanzado aún el pico más bajo de la sequía, pero son muy evidentes los estragos en la agricultura de temporal, que en la imagen se confunden con incendios. Los restos secos de las plantaciones siniestradas y de pastos secos de la zona también se incendian, pero al no ser masas arboladas importantes no son registrados como incendios por los organismos oficiales.

Como se ha visto para las imágenes en sequía, por una parte clasifica matorrales y ecosistemas del altiplano y sus montañas como selvas, y por otra, incluye algunos sitios abandonados y con vegetación secundaria dentro de los mezquiales. Pero además, en este caso particular, etiqueta bosques caducifolios y selvas altas como bosques de táscate.

Otros aspectos significativos son la pérdida de espejo de agua en las presas, en forma similar a lo ocurrido en 2008, así como el problema de sombras en *El Cielo* y en la Sierra Chiquita, cuya respuesta espectral específica de la imagen no pudo explicarse a través de este análisis.

Imagen Cls2011294trr

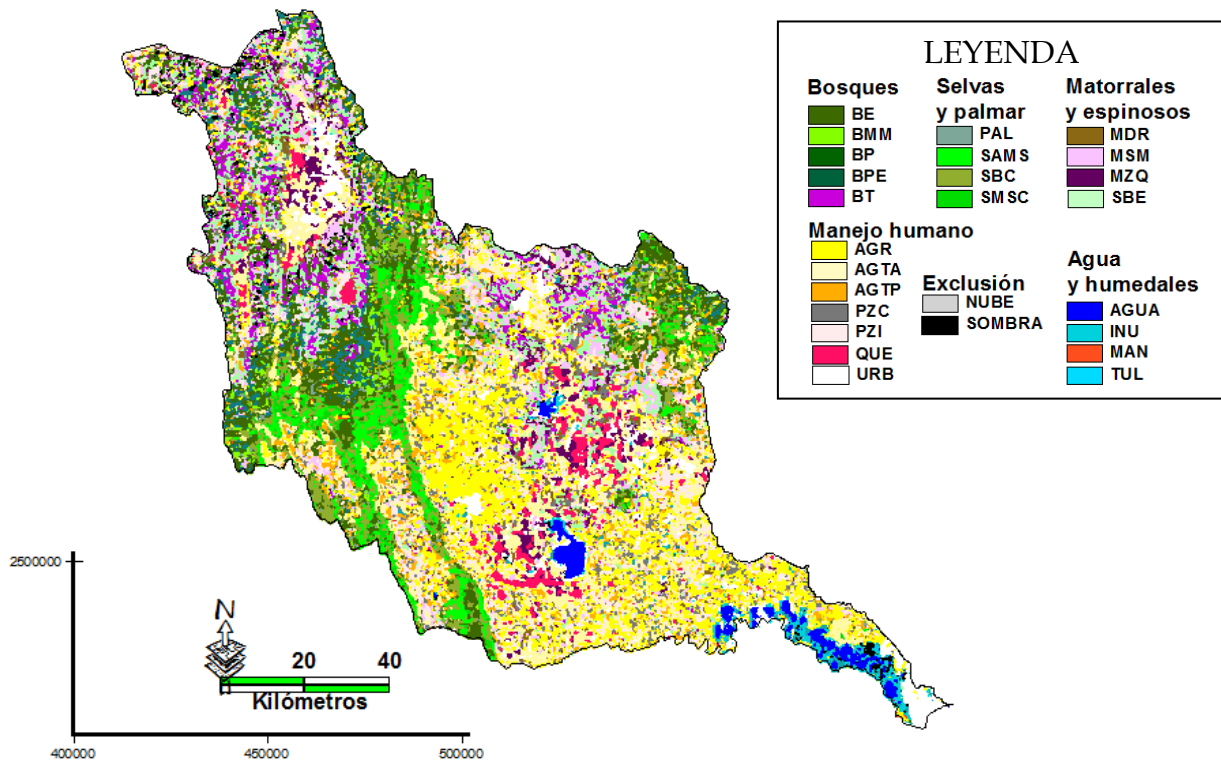


Figura IV.1.1-15. Clasificación supervisada de la imagen MODIS 721 Terra, correspondiente al 20 de octubre de 2011.

Aunque se presentaron suficientes lluvias estivales (732.4 mm de junio a septiembre, <http://clima.tiempo.com/>) algunos terrenos agrícolas de temporal no han logrado reponerse. La mayoría de los ecosistemas afectados, así como los cuerpos de agua se recuperaron favorablemente, con excepción de aquellos dañados por los mayores incendios, como en los casos de **El Cielo** o en los bosques de pino en Miquihuana.

OEIDRUS (2011) reportó 22 incendios forestales para la región del 1 de enero al 3 de junio de 2011. De ellos, destacan por su superficie y por su duración los de Miquihuana y Jaumave, activos durante la última visita a campo. En la imagen clasificada el más notable es el de **El Cielo** (Figura IV.1.1-15), que **OEIDRUS (2011)** reportó con 1,205 has consumidas hasta el 3 de junio, pero CONAFOR (en prensa: www.infonorte.net de 13/06/2011) informó que al final acabó con otras 26.

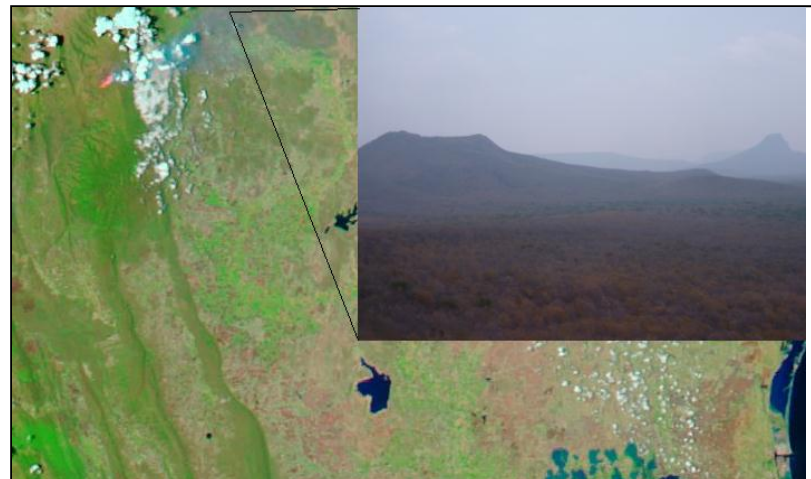


Figura IV.1.1-16. Imagen MODIS Aqua 721 del 11 de mayo de 2011 mostrando el incendio sobre la R.B. El cielo (NASA/GSFC, *Rapid Response*). En el inserto se vislumbra el humo sobre la Cuesta de Llera, captado desde el sitio señalado en la imagen a las 10:00 hrs del 12 de mayo.

Para la fecha de la imagen han caído 41.7 mm de lluvia en lo que va del mes de octubre, y la sequía es la más alta del periodo de análisis (-2.469. **NADM, 2012**). Por ello, el

clasificador sigue asignando erróneamente selvas en sitios de bosque, así como bosque de táscate en selvas y mezquiales. Destacan también grandes extensiones de suelo desprovisto de vegetación en el valle de Jaumave; así mismo, se nota la región cañera con la mayoría del cultivo en su etapa pre-cosecha. El resto de las clases ha sido correctamente asignadas y ubicadas.

Imagen Cls2011303trr

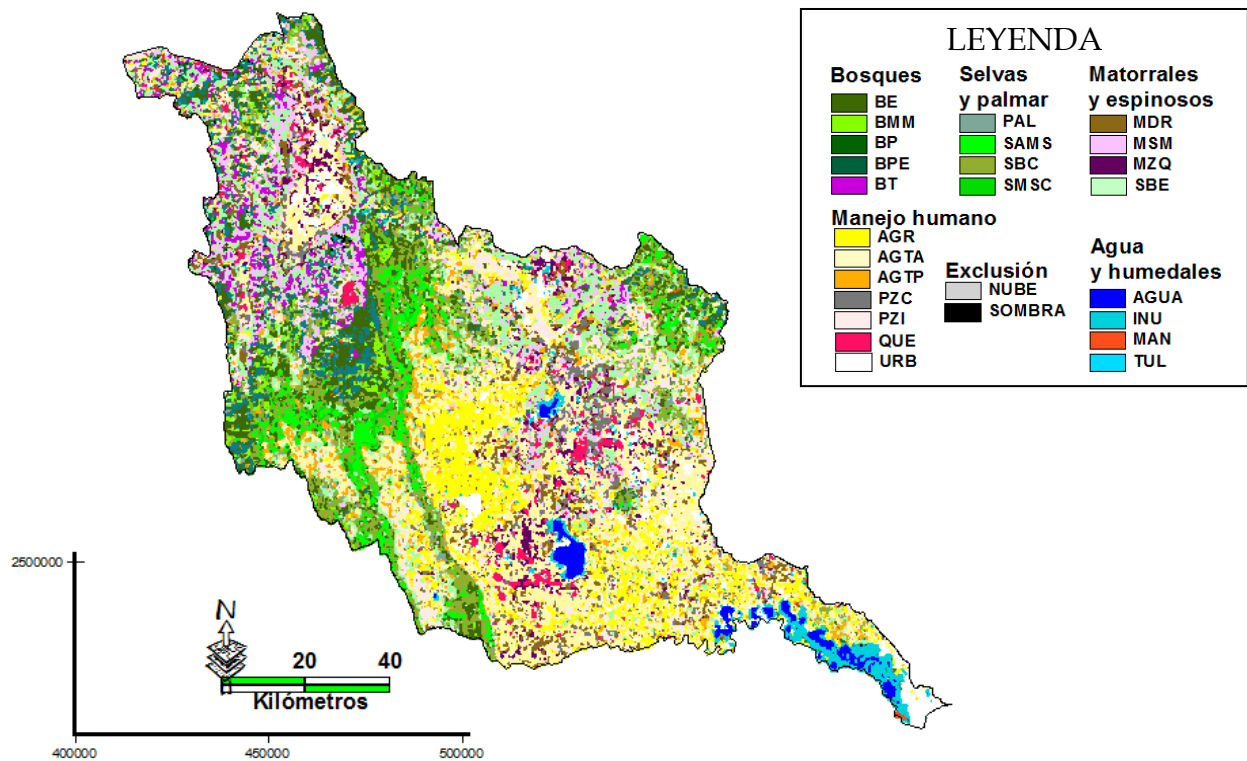


Figura IV.1.1-17. Clasificación supervisada de la imagen MODIS 721 Terra, correspondiente al 30 de octubre de 2011.

La última imagen del análisis (Figura IV.1.1-17) fue colectada diez días después que la anterior, por lo que presenta básicamente sus mismas condiciones climatológicas, con sólo 1.7 mm más de lluvia (<http://clima.tiempo.com/>). Sin embargo, presenta mayor calidad en cuanto a nitidez y umbría.

Se observan los cultivos en las zonas de riego en etapas avanzadas de crecimiento, con una zafra a punto de comenzar para la industria de caña de azúcar. Sin embargo, las regiones de la Temporalera en Mante y en Magiscatzin continúan sin cultivo y siguen siendo confundidas con zonas quemadas. La evaluación de estas zonas por el método propuesto por Cruz López, *et al.* (2011) modificado para este particular, denota que el 84% de ellas son efectivamente zonas incendiadas, y que el resto son áreas circundantes que fueron afectadas en cierto nivel por esos eventos.

Las inconsistencias son similares a las que se presentan para imágenes secas, y son básicamente la confusión de selvas en áreas de bosques templados de Jaumave y Miquihuana, así como los bosques de táscate en sitios de matorral, incluyendo en la Sierra de Tamaulipas, aunque en mucho menor superficie que la imagen anterior. Por su parte, bosques de encino de El Gallito son clasificados erróneamente con bosques mixtos con pino. En general, las clases han sido correctamente ubicadas y asignadas.

IV.1.2. Índice de Verde

Al derivarse del NDVI de cada imagen, con el índice de verde se obtuvo la porción de la cuenca con mayor producción fotosintética con respecto a las coberturas de menor o nula producción. Esto no necesariamente corresponde a las condiciones de sequía meteorológica del ISS, debido a que el verdor que aportan a la imagen los ecosistemas perennes y los sistemas de riego, los presentan, hasta cierto punto -y al menos en el periodo de análisis-, independientes de ese índice. Por esta razón este, y no el de ISS, fue utilizado para realizar las búsquedas booleanas de ecosistemas caducifolios, analizando por separado las imágenes de temporada seca y las de temporada verde.

El Cuadro IV.1.2-1 muestra los niveles del índice de verde para cada imagen, que posteriormente fueron utilizados como criterio para analizar los comportamientos espectrales por separado principalmente de los ecosistemas caducifolios. Las imágenes “secas” coinciden generalmente con el invierno y la primavera, mientras que las “verdes” coinciden con el fin de verano y el otoño.

Cuadro IV.1.2.-1. Índice de verde y % del área de estudio para cada clase de cobertura del índice en las imágenes analizadas.

No.	Imagen	Condición	% Azul	% Verde	% Marrón	% Gris	% Blanco	Marrón + Gris	Índice de Verde
1	2006034	Verde	12.24	25.62	20.23	21.21	20.69	41.44	0.618
2	2006360	Verde	7.35	31.97	26.78	25.35	8.53	52.13	0.613
3	2007049	Seca	17.23	20.45	21.85	24.49	16.03	46.34	0.441
4	2008144	Seca	17.87	23.17	18.50	18.53	21.93	37.02	0.626
5	2008347	Verde	2.04	32.63	23.57	26.18	15.58	49.75	0.656
6	2009093	Seca	13.34	22.09	23.36	21.82	19.39	45.18	0.489
7	2010119	Seca	7.90	20.56	31.33	25.05	15.16	56.38	0.365
8	2010126	Seca	19.63	18.93	20.72	23.74	16.99	44.45	0.426
9	2010156	Seca	22.32	19.03	19.42	23.77	15.45	32.93	0.371
10	2010309	Verde	2.62	35.55	25.58	24.47	11.78	50.05	0.710
11	2010338	Verde	9.20	30.81	24.07	22.44	13.48	46.51	0.662
12	2010343	Verde	7.22	27.84	23.17	28.44	13.33	51.61	0.539
13	2011067	Seca	12.90	22.11	23.99	24.70	16.29	48.69	0.454
14	2011102	Seca	14.08	21.39	24.88	24.12	15.53	49.00	0.436
15	2011294	Verde	2.92	33.30	29.46	22.07	12.24	51.53	0.646
16	2011303	Verde	24.44	22.08	19.17	19.69	14.62	38.86	0.568

Es necesario aclarar que, para propósitos de este trabajo, este índice cumplió con su finalidad de determinar el tipo seco/verde de cada imagen analizada; pero debido a que se presenta inconsistencias en la designación de clases, se considera que es preliminar y debería calibrarse para un estudio más detallado.

IV.1.3. Comunidades vegetales y usos de suelo en la cuenca.

En total, se ubican 30 tipos de coberturas del terreno, que incluyen los tipos principales de vegetación natural, sus coberturas con vegetación secundaria, así como los cuerpos de agua y las coberturas antrópicas consistentes en manchas urbanas, agricultura y ganadería; se incluyen además suelos sin vegetación y las áreas quemadas observables en noviembre de 2011 (Cuadro IV.1.3.-1). La distribución de las comunidades vegetales y el uso de suelo actual se observan en la Figura IV.1.3-1.

Cuadro IV.1.3.-1. Clasificación de la superficie por tipos de vegetación y uso de suelo de la cuenca.

Vegetación y uso de suelo	Hectáreas	%
Agricultura de riego (incluye riego eventual)	169,338	11.36
Agricultura de temporal con cultivos anuales	269,254	18.06
Agricultura de temporal con cultivos permanentes y semipermanentes	8,793	0.59
Asentamiento humano (mancha urbana)	20,606	1.38
Bosque de encino	83,004	5.57
Bosque de pino	30,184	2.02
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	71,904	4.82
Bosque con vegetación secundaria de pino, encino y/o chaparral	32,652	2.19
Bosque de táscate	3,576	0.24
Bosque HÚMEDO de montaña	28,857	1.94
Cuerpo de agua	30,785	2.06
Manglar	257	0.02
Matorral desértico rosetófilo (incluye con y como vegetación secundaria)	55,072	3.69
Matorral submontano	79,377	5.32
Mezquital (incluye huizachal)	7,708	0.52
Mezquital (incluye huizachal) con y como vegetación secundaria	42,860	2.87
Palmar natural y como vegetación secundaria	7,698	0.52
Pastizal cultivado	64,517	4.33
Pastizal inducido	10,870	0.73
Popal-tular: Tular y otra vegetación semisumergida y sumergida	14,687	0.99
Selva alta y mediana subperennifolia	32,128	2.15
Selva baja caducifolia y subcaducifolia	115,885	7.77
Selva baja caducifolia y subcaducifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea	99,690	6.69
Selva baja espinosa, incluye huizachal con y como vegetación secundaria arbustiva y herbácea	60,547	4.06
Selva mediana caducifolia y subcaducifolia, incluye vegetación secundaria arbustiva y herbácea	79,550	5.34
Vegetación de galería (incluye bosque, selva y vegetación de galería)	324	0.02
Superficies quemadas (octubre 2011)	31,932	2.14
Suelo aparentemente desnudo (permanente y octubre 2011)	38,358	2.57

Fuente: Elaboración propia.

Los **Anexos ANALÓGICO 2 y DIGITAL 6** muestran el mapa de distribución de las diferentes comunidades vegetales y usos del suelo que integran el LULC del área de estudio.

IV.1.3.1. Comunidades vegetales.

Antes de describir las comunidades vegetales, es necesario hacer una comparación con la carta digital más actualizada del [INEGI \(2005\)](#), conocida como la Serie III. Esta fue producida a partir de la Serie II, con apoyo visual de imágenes LANDSAT de 2002, enfocándose en las áreas con cambios en las coberturas. De estas áreas de cambio se seleccionaron los sitios de verificación y muestreo, que se llevaron a cabo por vía terrestre y con apoyo aéreo ([INEGI, 2009b](#)).

Es importante destacar el hecho que menciona [INEGI \(2009b\)](#) acerca de que cada actualización de sus cartas digitales de uso de suelo y vegetación se haya generado a partir de una focalización en los sitios de cambio de la anterior. Además, el muestreo que se llevó a cabo (Figura IV.1.3-1) no contempla algunos ecosistemas en los que se observaron diferencias con la carta de referencia (INF de [UNAM, 2000](#)).

El problema que esto representa para el estudio de una región tan compleja como la cuenca Guayalejo-Tamesí es que se van tomando como correctas las primeras clasificaciones en sitios que no se observaron con cambio; pero esas primeras clasificaciones fueron elaboradas a partir de muestreos y tecnología muy limitados, por lo que los errores de la fotointerpretación inicial fueron conservándose en las subsecuentes actualizaciones, especialmente para sitios poco accesibles.

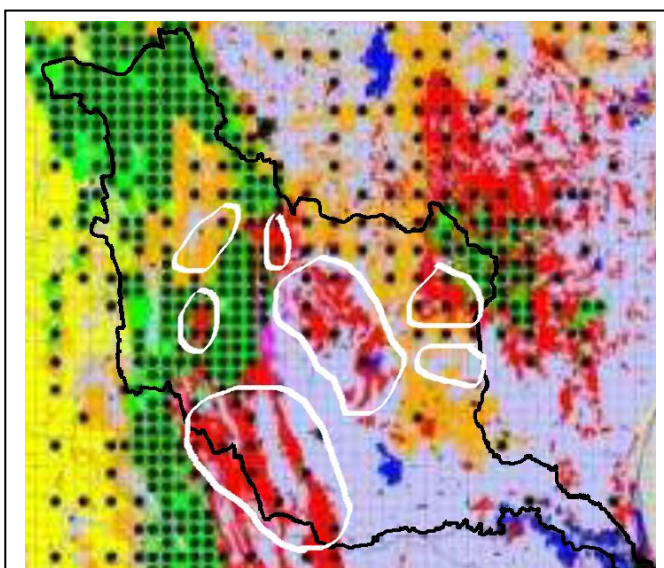


Figura IV.1.3.1-1. Sitios del muestreo en campo para el INF 2004-2009, en la cuenca Guayalejo-Tamesí. Nótese los escasos levantamientos en selvas (rojo) y matorrales (dorado). Fuente: adaptado de [Orozco, 2008](#).

En la fase preliminar de análisis visual de la colección de imágenes de este trabajo, se fueron observando sitios con tipos de vegetación que no coincidían con los señalados por el INF ([UNAM, 2000](#)) ni por la Serie III ([INEGI, 2005](#)); por eso se evitó ubicar sitios de entrenamiento en ellos, ya que en este estudio se visitaron muy pocos de esos puntos conflictivos. Tampoco coincidieron al momento de clasificar las imágenes, ni mucho menos al obtener los mapas de distribución probable de cada tipo de vegetación.

El mapa de referencia principal en este trabajo fue el de la actualización de [Requena \(2008\)](#) a partir del INF ([UNAM, 2000](#)), ya que el de la Serie III ([INEGI, 2005](#)) contempla una leyenda con una segregación diferente que dificulta la comparación con el mapa generado. Por otra parte, se identificaron algunos errores graves en la delimitación y clasificación de algunos polígonos; de estos destacan la asignación de “zona urbana” al manglar que reduce una superficie de más de 250 hectáreas a sólo una, así como una incorrecta asignación de la clase “popal/tular” a una fracción de la Sierra de Cucharas.

A continuación se describe, en orden de importancia por su superficie, cada una de las comunidades vegetales presentes. Se incluyen ejemplos de especies nativas de cada comunidad, así como ejemplos de especies de vegetación secundaria, exóticas, introducidas e indicadoras de disturbio.

La **selva baja caducifolia y subcaducifolia** corresponde al bosque tropical caducifolio de otros autores (UAT, 2001). Presenta una fisonomía muy característica en la época de sequía (especialmente de mediados de invierno), cuando la mayoría de sus elementos leñosos pierden sus hojas; de ahí el nombre de “caducifolio”. Se considera subcaducifolia cuando esta característica se presenta entre un 50 y 75% de dichos elementos, y si es en mayor porcentaje se dice que es caducifolia. A fines de invierno y principios de primavera, se presenta la floración en ausencia de hojas, y es también cuando, en combinación de vientos del norte y escasas lluvias, se presentan la mayor parte de los daños por incendios.

Esta selva se presenta de 0 a 850 msnm, en terrenos con suelos pedregosos y someros, muchas veces con afloramientos de rocas ígneas o calizas. El clima que le favorece es el tipo cálido subhúmedo, con lluvias en verano. Se distribuye sobre laderas y lomeríos de la Sierra de Tamaulipas y la porción oriental de la Sierra Madre, en la Sierra de Cucharas, de Talamave, en las mesetas centrales de la cuenca, así como en los alrededores del Cerro del Bernal (Figura IV.1.3.1.-2).

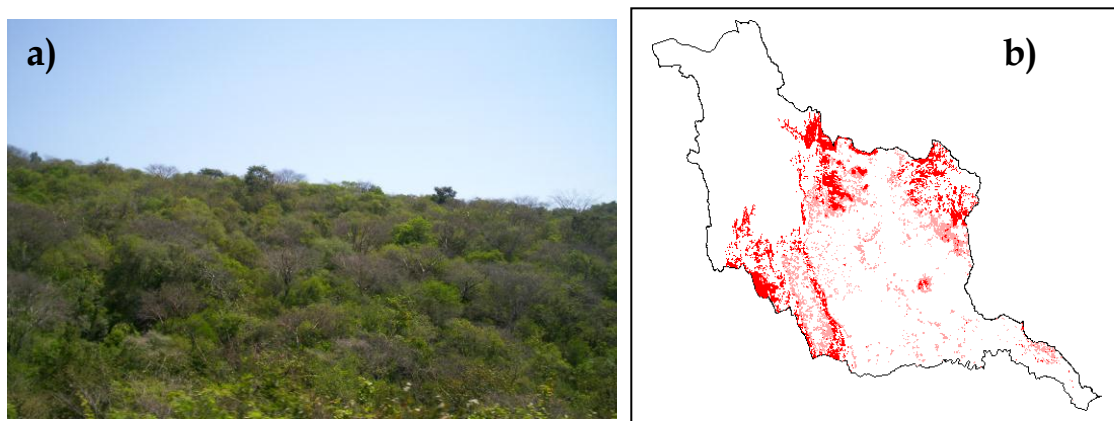


Figura IV.1.3.1-2. (a) Selva baja subcaducifolia en el municipio de Ocampo; (b) distribución de esta comunidad en la cuenca (El color más claro indica vegetación secundaria).

El estrato arbóreo generalmente no sobrepasa los 15 m de altura, aunque existen excepciones, como el caso de *Enterolobium cyclocarpum* que alcanza hasta 30 m de altura y de fronda. En algunos sitios existen epífitas en abundancia, generalmente bromelias como *Tillandsia* spp., parásitas como el higuero (*Ficus cotinifolia*) y cactus como el jacabe.

INEGI (2005) reporta para la zona 261,242 hectáreas, incluyendo sitios con vegetación secundaria, casi 38,523 menos que las 215,575 calculadas en este trabajo. Esta pérdida se debe principalmente a la reclasificación de las superficies identificadas como SBC por el INF (UNAM, 2000), a SAMS y SMSC resultado de este trabajo. Particularmente en algunas porciones de la Sierra Madre cercanas a Llera, así como en las sierras de Cucharas y de Tamaulipas. Aunque al mismo tiempo se asignaron a esta clase otras áreas provenientes principalmente de relictos en zonas agropecuarias, éstos no fueron

del mismo peso que la reasignación a selvas más altas que esta. Algunas especies interesantes encontradas en este tipo de selva en varios sitios de la cuenca se resumen en el siguiente Cuadro (IV.1.3.1-1).

Cuadro IV.1.3.1-1. Ejemplo de especies presentes en la selva baja caducifolia y subcaducifolia observadas en la zona de estudio.

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Leguminosae	Arbóreo	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Orejón	Árboles muy frondosos, maderable, de sombra
Leguminosae	Arbóreo	<i>Pithecellobium dulce</i>	Guamúchil	Fruto comestible
Leguminosae	Arbóreo	<i>Erythrina herbacea</i>	Patol	Semillas tóxicas
Leguminosae	Arbóreo	<i>Leucaena leucocephala</i>	Guaje	Forraje. Invasor, oportunista
Burseraceae	Arbóreo	<i>Bursera simaruba</i>	Chaca	Construcción de cercos vivos
Vervaceae	Herbáceo	<i>Lantana camara</i>	Lantana	Ornato
Bignoniaceae	Arbóreo	<i>Crescentia alata</i>	Guaje	La cápsula de la semilla se usa como contenedor
Bignoniaceae	Arbóreo	<i>Parmentiera aculeata</i>	Chote	Fruto comestible, medicinal
Bignoniaceae	Arbóreo	<i>Tabebuia rosea</i>	Palo de rosa	Maderable, ornato
Borraginaceae	Arbóreo	<i>Ehretia anacua</i>	Anacua	Ornato
Sterculiaceae	Arbóreo, arbustivo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guácima	Oportunista, indicadora de disturbio
Agavaceae	Arbóreo	<i>Beaucarnea recurvata</i>	Soyate	Ornato, en peligro de extinción
Sapotaceae	Arbóreo	<i>Bumelia</i> sp.	Capulín, Coma	De sombra, fruto comestible
Moraceae	Arbóreo	<i>Ficus cotinifolia</i>	Higuerón	Parásito
Leguminosae	Arbóreo	<i>Prosopis tamaulipasna</i>	Mezquite	Maderable, Endémica
Moraceae	Arbóreo	<i>Morus</i> sp.	Mora verde	De sombra, fruto comestible
Bombacaceae	Arbóreo	<i>Pseudobombax ellipticum</i>	Clavelina	Ornato
Cactaceae	Arbóreo	<i>Neobuxbaumia euphorbioides</i>	Órgano	
Leguminosae	Arbustivo	<i>Acacia farnesiana</i>	Huizache	Indicadora de disturbio
Solanaceae	Arbustivo	<i>Cnidoscolus multilobus</i>	Mala mujer	Urticante. Indicadora de disturbio
Bromeliaceae	Herbáceo	<i>Hechtia glomerata</i>	Guapilla	Con el fruto se prepara una bebida refrescante
Vervaceae	Trepadora	<i>Petrea volubilis</i>	Gloria o raspa sombrero	Ornato
Cucurbitaceae	Trepadora	<i>Luffa aegyptiaca</i>	Estropajo	Su fruto seco es comercial
Asteraceae	Trepadora	<i>Senecio chenopodioides</i>		Ornato
Asteraceae	Herbáceo	<i>Parthenium hysterophorus</i>	Amargoso	Medicinal
Malvaceae	Herbáceo	<i>Abutilon hypoleucum</i>	Tronadora	Medicinal
Bromeliaceae	Epífita	<i>Tillandsia ionantha</i>	Tilansia	

No obstante, es necesario recalcar que la deforestación antrópica y la alta tasa de incendios en la zona han impactado significativamente esta comunidad vegetal, de manera que casi un 46% de su cobertura está conformado por vegetación secundaria derivada del mismo. Las especies presentes en las zonas afectadas principalmente son la guácima y huizache, así como varias especies de pastos. Además, se presentan especies introducidas como framboyán, naranjo, jacaranda, limón, etc.

El **Bosque de encino** es también conocido como bosque de *Quercus*, debido a la dominancia de éste género en el estrato arbóreo, que muchas veces alcanza los 20 m de altura. En algunas zonas se presenta abundancia de líquenes, musgos, y epífitas como *Tillandsia usneoides*, helechos y orquídeas. Especies de vegetación secundaria comunes en ciertos lugares con disturbio son el huizache, guácima y mala mujer; mientras que pastos invasores como zacate orillero, Johnson y estrella son usuales como vegetación inducida en esta comunidad.

En su mayoría, se asocian con las zonas templadas de la sierra, pero existen encinares tropicales en el sur del estado; en éstos domina *Quercus oleoides*, pero generalmente presenta otros elementos arbóreos como el coyol, la guácima y la chaca. En el Cuadro IV.1.3.1-2 se muestran ejemplos de especies de esta comunidad, mientras que en la Figura IV.1.3.1-4 se presenta su distribución en la cuenca, que ocupa 83 mil hectáreas, un 32% menor que la reportada por INF (UNAM, 2000); pese a esto, continúa siendo la segunda comunidad vegetal de mayor extensión en la cuenca.

Cuadro IV.1.3.1-2. Ejemplo de especies presentes en los bosques de encino de la zona de estudio.

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Fagaceae	Arbóreo	<i>Quercus polymorpha</i>	Encino roble	Maderable
Fagaceae	Arbóreo	<i>Q. canbyi</i>	Encino	
Fagaceae	Arbóreo	<i>Q. laceyi</i>	Encino	
Fagaceae	Arbóreo	<i>Q. rhizophylla</i>	Encino colorado	Maderable
Fagaceae	Arbóreo	<i>Q. oleoides</i>	Encino	Maderable
Ericaceae	Arbóreo	<i>Arbutus xalapensis</i>	Madroño	
Cupressaceae	Arbóreo	<i>Junipeus flaccida</i>	Cedro blanco	
Leguminosae	Arbóreo	<i>Acacia angustissima</i>	Barba de chivo	
Leguminosae	Arbóreo	<i>Erythrina americana</i>	Patol	Ornato, semillas tóxicas
Celastraceae	Arbóreo	<i>Wimmeria concolor</i>	Hueso de tigre	
Malvaceae	Arbustivo	<i>Abutilon procerum</i>		Endémica
Asteraceae	Herbáceo	<i>Erigeron cieloensis</i>		Endémica
Boraginaceae	Herbáceo	<i>Macromeria alba</i>		Endémica
Polypodiaceae	Herbáceo	<i>Polypodium vulgare</i>	Helecho	Ornato
Crassulaceae	Epífita	<i>Echeveria</i> sp.		

Las mayores pérdidas de superficie de este bosque no se deben, como en el caso de la SBC, a la reclasificación de coberturas. En este caso la disminución real de la masa boscosa, explica la mayor parte de este cambio, especialmente en las partes montañosas de mayor altitud de Jaumave Miquihuana; de acuerdo con el sitio, ocurrió desmonte casi siempre por incendio, o bien crecimiento de vegetación secundaria que, de acuerdo a la zona, derivó en “matorralización” o “chaparralización” (encinos en fase de crecimiento) del bosque.

Las adiciones de superficie fueron menores, pero en este caso el clasificador detectó pequeños relictos del bosque en la región de Altamira (visitados en campo), así como en las sierras de Cucharas y Talamave, donde no se tienen reportes de muestreos.

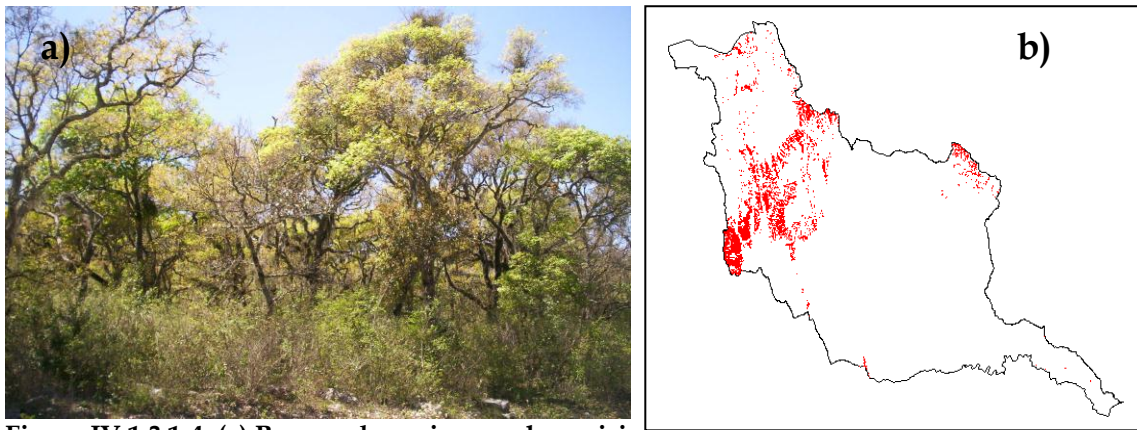


Figura IV.1.3.1-4. (a) Bosque de encino en el municipio de Tula; (b) distribución en la cuenca.

La **Selva mediana caducifolia y subcaducifolia** es de menor distribución (ocupa casi 80 mil has) que la baja, debido a que requiere de condiciones de mayor humedad y de sitios más protegidos. El estrato arbóreo es de 15 a 30 m de altura y presenta un número mayor de hierba, epífitas y trepadoras que la selva baja.

Los organismos oficiales (CONAFOR, UNAM, INEGI) reportan que en la cuenca esta selva se restringe a los límites centro-este de **El Cielo**, donde en su mayor parte se encuentra protegida. Sin embargo, a través del proceso de imágenes MODIS y por análisis ecogeográfico se encontró una distribución del doble de la superficie obtenida por dichas instancias. Los sitios identificados pertenecen a superficies de SBC que no han sido muestreados por esos organismos, a través de las sierras de Talamave, Cucharas, de Tamaulipas, al poniente de Llera y un pequeño relicto en el Cerro del Bernal (Figura IV.1.3.1-5).

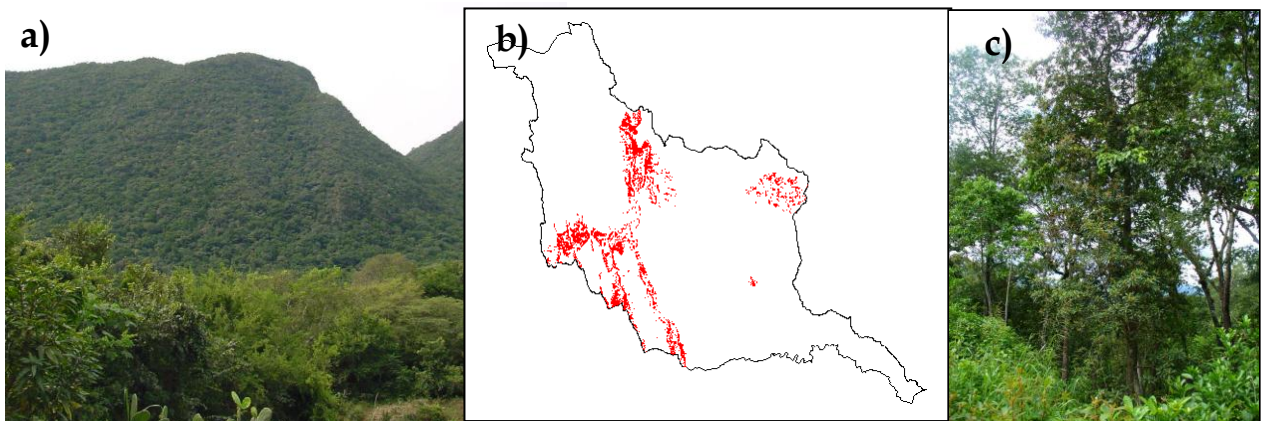


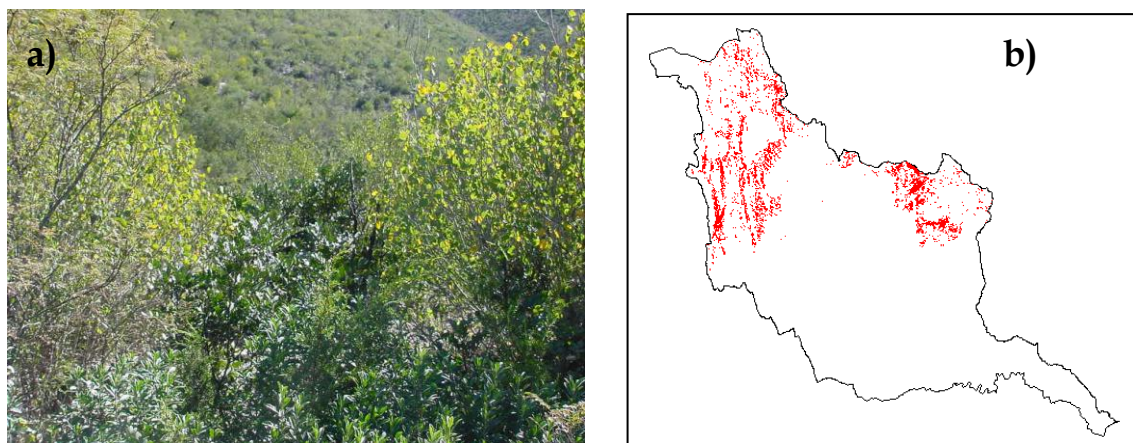
Figura IV.1.3.1-5. (a) SMSC con vegetación secundaria arbustiva y herbácea en el municipio de Gómez Farías; (b) distribución en la cuenca; (c) en el municipio de González (Sierra de Tamaulipas).

En las porciones con disturbio que presentan vegetación secundaria se encuentran especies tales como el huizache, la guácima, la palma real y la mala mujer; así como especies introducidas: framboyán, ricino (*Ricinus communis*), cítricos y algunos pastos como el estrella y el *Buffel*. Ejemplos de las especies en esta comunidad se encuentran en el Cuadro IV.1.3.1-3.

Cuadro IV.1.3.1-3. Ejemplo de especies en la selva mediana caducifolia y subcaducifolia de la zona de estudio.

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Euphorbiaceae	Arbóreo	<i>Drypetes lateriflora</i>	Reventón	
Papilionaceae	Arbóreo	<i>Piscidia piscipula</i>	Chijol	Ornato
Leguminosae	Arbóreo	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Orejón	Alcanza gran porte
Leguminosae	Arbóreo	<i>Acacia coulteri</i>	Palo de arco	
Burseraceae	Arbóreo	<i>Bursera simaruba</i>	Chaca	Construcción de cercos
Ulmaceae	Arbóreo	<i>Aphananthe monoica</i>	Quebrache	
Rutaceae	Arbóreo	<i>Casimiroa greggii</i>	Chapote amarillo	
Sterculiaceae	Arbóreo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guácima	Oportunista
Meliaceae	Arbóreo	<i>Cedrella odorata</i>	Cedro rojo	Maderable
Malvaceae	Arbustivo	<i>Robinsonella discolor</i>	Tulipán	Ornato

El **Matorral submontano** presenta elementos inermes y caducifolios en un periodo breve del año. Generalmente se encuentra en el ecotono de matorrales áridos con bosques de encino o selvas bajas caducifolias, en las partes bajas de la sierra; por ello presenta especies comunes con tales comunidades. En la cuenca se desarrollan principalmente en los alrededores del Valle de Jaumave, así como en la Sierra de Tamaulipas (Figura IV.1.3.1-6), ocupando 79.4 mil hectáreas.

**Figura IV.1.3.1-6 (a) Matorral submontano en el municipio de Palmillas; (b) distribución en la cuenca.**

La cartografía oficial indica que este matorral forma una masa compacta en el altiplano y en las mesetas y bajadas de la Sierra de Tamaulipas. Sin embargo, el análisis de este trabajo muestra una distribución menos compacta que se extiende más al sur de ambas sierras, ocupando superficies clasificadas anteriormente como BE en la Sierra Madre, SBE y SBC en la de Tamaulipas, y BE y agricultura de temporal en el sur del valle de Palmillas (lo que probablemente es debido al desmonte y posterior abandono de tierras).

El suelo en que se desarrollan es muy somero, lo que, aunado a la presencia de especies apetecibles para el ganado, por lo que el sobrepastoreo es la mayor fuente de disturbio en esta comunidad. Las especies de vegetación secundaria suelen ser el huizache y pastos inducidos como el zacate estrella y el orillero. Ejemplos de especies propias de este tipo de vegetación se presentan en el Cuadro IV.1.3.1-4.

Cuadro IV.1.3.1-4. Ejemplo de especies presentes en los matorrales submontanos en la zona de estudio.

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Rutaceae	Arbustivo	<i>Helietta parviflora</i>	Barreta	Construcción de cercos
Boraginaceae	Arbóreo, arbustivo	<i>Cordia boissieri</i>	Anacahuita	Ornato
Asteraceae	Arbustivo	<i>Gochnatia hypoleuca</i>	Ocotillo	Dominante
Leguminosae	Arbustivo	<i>Acacia farnesiana</i>	Huizache	Indicadora de disturbio
Leguminosae	Arbustivo	<i>Leucaena</i> sp.	Guaje	Forraje
Leguminosae	Arbustivo	<i>Prosopis laevigata</i>	Mezquite	Maderable
Scrophulariaceae	Arbustivo	<i>Leucophyllum frutescens</i>	Cenizo	Ornato
Agavaceae	Herbáceo	<i>Agave lechuguilla</i>	Lechuguilla	Empleada en jarcería
Agavaceae	Herbáceo	<i>Agave</i> sp.	Agave	Ornato
Agavaceae	Herbáceo	<i>Yucca treculeana</i>	Yuca	Flor comestible
Cactaceae	Herbáceo	<i>Opuntia engelmannii</i>	Nopal	Comestible
Cactaceae	Herbáceo	<i>Ferocactus echinocactus</i>	Cacto barril	Ornato

Bosque de pino-encino (Incluye encino-pino). Son bosques conformados por especies encontradas tanto en los pinares como en los encinares, por lo que resultan de una complejidad mayor que las comunidades “puras” de estos. Su distribución se muestra de color rojo en la Figura IV.1.3.1-7, y se encuentra asociada a dichos bosques, en las partes altas de las sierras, y ocupa casi 72 mil hectáreas de terreno. Otras 32,652 hectáreas (color azul en la Figura IV.1.3.1-7) están ocupadas por una mezcla que no fue posible cartografiar por separado entre este bosque mixto, y los de pino o encino con vegetación secundaria en distintas fases.

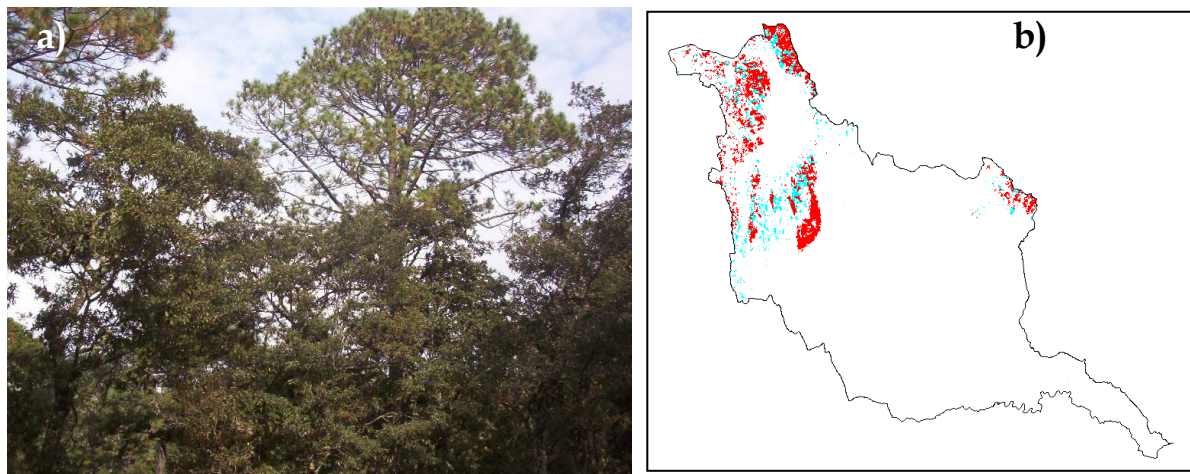


Figura IV.1.3.1-7. (a) Bosque de pino y encino en el municipio de Miquihuana; (b) distribución en la cuenca.

Al igual que los bosques de encino, ha perdido cobertura en las sierras altas del extremo noreste de la cuenca, pero ha sustituido superficies anteriormente clasificadas como los bosques mencionados. Los incendios, la tala inmoderada de maderables y algunas plagas ocasionales son los principales factores de perturbación de estos bosques.

La **Selva baja espinosa**, en la Serie III de INEGI (2005) se le agrega como agrupación principal el tipo de vegetación de mezquiales espinosos, y para la cuenca la clasifica como caducifolia. Como la respuesta espectral es similar entre estos grupos, en este

trabajo se incluyó a esta clase algunos huizachales densos que no pudieron ser diferenciados a través del análisis ecogeográfico.

Esta selva se desarrolla en sitios más húmedos que los matorrales xerófilos, pero comparte con los mezquitales la abundancia de especies con espinas y leguminosas, su presencia en climas secos, así como el hecho de que la fertilidad de sus suelos los ha expuesto a deforestación masiva. Es por eso que actualmente ocupa unas 60 mil hectáreas de la cuenca (Figura IV.1.3.1-8), de las que se estima que más la mitad presentan o son parte de vegetación secundaria de otros grupos.

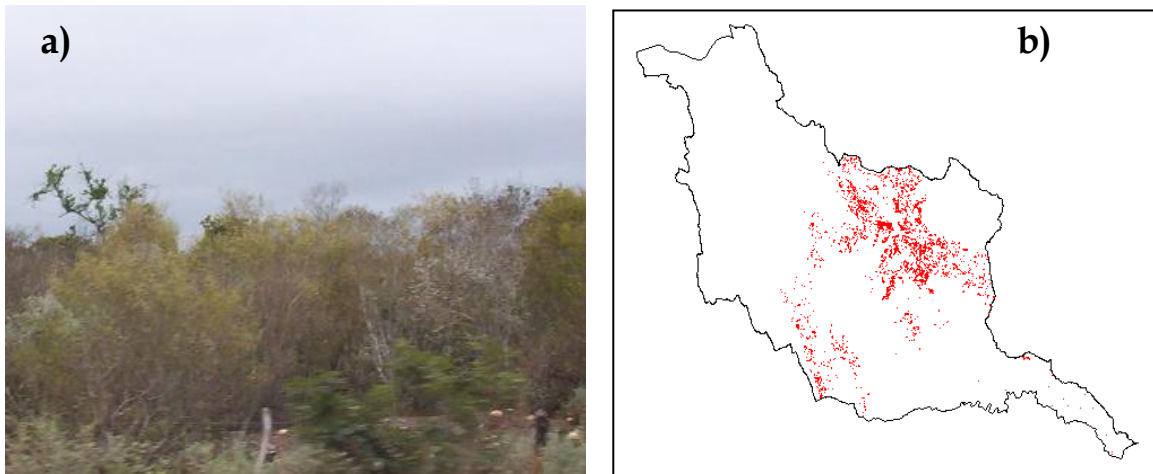


Figura IV.1.3.1-8. (a) Selva baja espinosa en el municipio de Xicoténcatl; (b) distribución en la cuenca.

Es importante mencionar que el clasificador encontró una cantidad significativa de pequeños sitios dispersos entre zonas agrícolas, que fueron identificados como relictos de SBE. Se integraron a esta clase sustituyendo a otras, debido a que pueden resultar de importancia como corredores biológicos. Uno de los sitios predichos por el modelo fue verificado por colaboradores de esta investigación (Requena, M. y Moreno, J.; comunicación personal, 2012), identificando elementos vegetales característicos de esta selva (Figura IV.1.3.1-9).

Ejemplos de especies comunes en esta selva se muestran en el Cuadro IV.1.3.1-5. Algunos individuos que forman parte de su vegetación secundaria son los huizaches, mezquites, nopales, anacahuítas, palmas y yucas. Ocurren algunos pastos invasores, como el Buffel y el zacate estrella, aunque siempre en bajas densidades.



Figura IV.1.3-9. Relicto de Selva Baja Espinosa con huizache y mezquite, cerca del ejido Narciso Mendoza (municipio de Xicoténcatl); se distinguen en primer plano anacahuíta y nopales (Fotos cortesía de Mireya Requena, 2012).

Cuadro IV.1.3.1-5. Ejemplo de especies en la selva baja espinosa de la zona de estudio.

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Leguminosae	Arbóreo	<i>Prosopis tamaulipana</i>	Mezquite	Maderable, endémica
Agavaceae	Arbóreo	<i>Yucca treculeana</i>	Yuca	Flor comestible
Leguminosae	Arbustivo	<i>Acacia rigidula</i>	Gavia	
Leguminosae	Arbustivo	<i>A. cornigera</i>	Cuerno de toro	Oportunista
Boraginaceae	Arbustivo	<i>Cordia boissieri</i>	Anacahuita	Ornamental
Leguminosae	Arbustivo	<i>Pithecellobium ebano</i>	Ébano	Maderable, semillas asadas comestibles
Leguminosae	Arbustivo	<i>P. dulce</i>	Guamúchil	Fruto comestible
Leguminosae	Arbustivo	<i>P. pallens</i>	Tenaza	Maderable, ornato
Rutaceae	Arbustivo	<i>Zanthoxylum fagara</i>	Uña de gato	Medicinal
Scrophulariaceae	Arbustivo	<i>Leucophyllum frutescens</i>	Cenizo	Ornato
Cactaceae	Arbustivo	<i>Opuntia</i> sp.	Nopal	Comestibles
Cactaceae	Arbustivo	<i>O. imbricata</i>	Choya	Altamente espinoso
Cactaceae	Arbustivo	<i>Cephalocereus senilis</i>	Viejito	Endémica, amenazada
Rhamnaceae	Arbustivo	<i>Karwinskia humboldtiana</i>	Tullidor, coyotillo	Tóxico para el ganado
Cactaceae	Arbustivo	<i>Opuntia</i> spp.	Nopal	Comestible
Cactaceae	Trepadora	<i>Acanthocercus tetratagonus</i>	Jacube	Comestible
Ephorbiaceae	Herbáceo	<i>Croton</i> sp.	Salvia	Oportunista, medicinal
Bromeliaceae	Epífita	<i>Tillandsia recurvata</i>	Tilansia	Ornato

En el **Matorral desértico rosetófilo** dominan especies cuyas hojas forman una roseta, y se desarrolla casi siempre en suelos someros de origen sedimentario de las zonas áridas y semiáridas de la cuenca. Se presentan como vegetación primaria en el valle de Jaumave y sus montañas; pero en estas últimas suelen presentarse como sustitutos de bosques talados o quemados, cubriendo especialmente sitios con pendientes fuertes; en total ocupan 55 mil hectáreas (Figura IV.1.3.1-10).

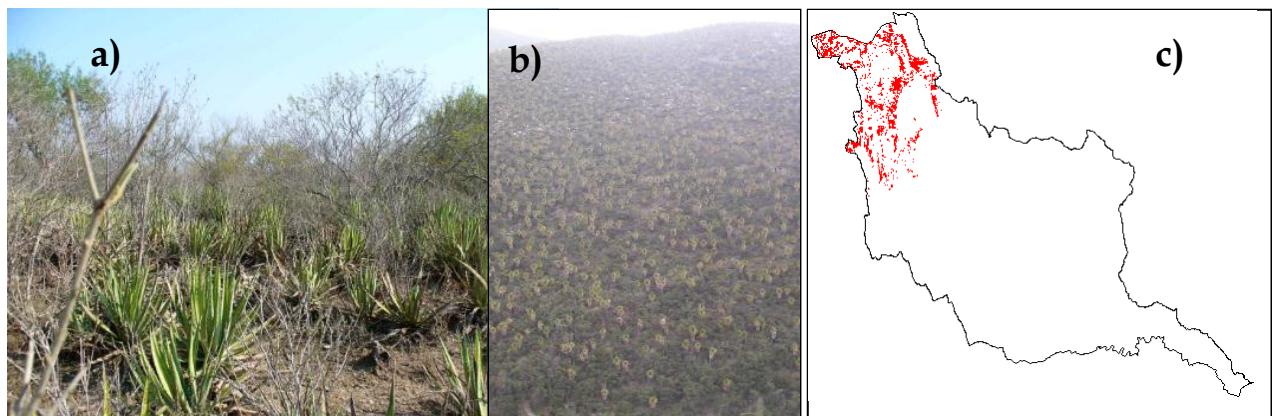


Figura IV.1.3.1-10. (a) Matorral desértico rosetófilo en el municipio de Jaumave; (b) MDR como vegetación sustituta de bosque de encino en La Marcela (Miquihuana); (c) distribución en la cuenca.

Es importante señalar que el MDR de las altas montañas (más de 2,000 msnm) de la cuenca ha sustituido los bosques templados como consecuencia de los continuos incendios generados en la zona. La imagen satelital más antigua data de 1973, y ya es posible observar los patrones de incendios en las montañas. No obstante, debido a la

falta de muestreo en esa zona, ni siquiera la cartografía oficial del INEGI (2005) más actualizada no refleja la inexistencia de importantes hectáreas de bosques en esos lugares. Las Figuras IV.1.3.-1-1, 2 y 3 muestran la comparativa de las diferentes imágenes de satélite disponibles con la cartografía digital de INEGI (2005) de la región de las altas montañas de Miquihuana-Jaumave.

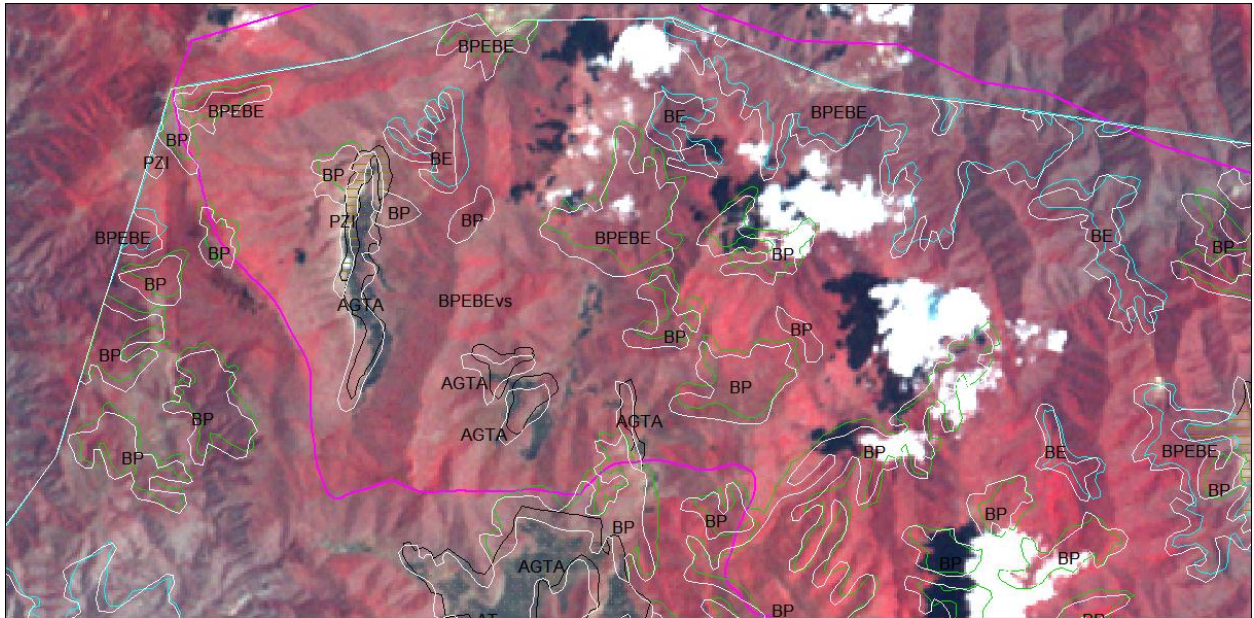


Figura IV.1.3.1.-11a. Imagen LANDSAT MSS en falso color, de mayo de 1973. Se muestran en color rosa los polígonos correspondientes a la carta digital de INEGI serie I (1976) y en verde y azul los correspondientes a la serie III (2005). En magenta el límite de cuenca.

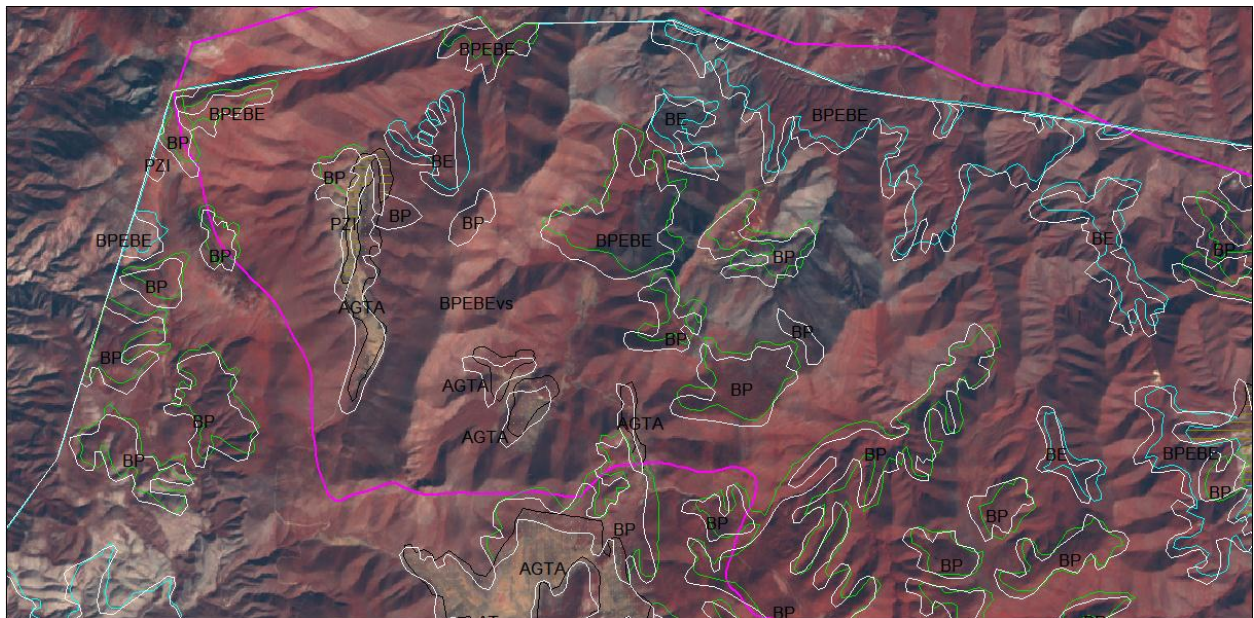


Figura IV.1.3.1.-11b. Imagen LANDSAT ETM+ en falso color, de enero de 2000. Se muestran en color rosa los polígonos correspondientes a la carta digital de INEGI serie I (1976) y en verde y azul los correspondientes a la serie III (2005). En magenta el límite de cuenca.



Figura IV.1.3.1.-11c. Imagen DigitalGlobe™ de septiembre de 2011 en color verdadero, mostrando la digitalización de las zonas boscosas (polígonos verdes) y el límite de cuenca (polígono magenta).

A este respecto, se preguntó a dos adultos mayores de la zona si recordaban algún incendio y la presencia de bosques antes de la década de los 70's; el sr. Noé, de 77 años, residente y originario del ejido El Aserradero informó de un incendio en los años 30 que acabó con el bosque de las montañas alrededor del ejido y que no volvió a recuperarse; el sr. Ernesto, de 66 años, residente en La Marcela desde los años 50, informó de un incendio en la montaña que acabó con los bosques de encino y pino a principios de esa década, que tampoco se recuperaron. Ambos coincidieron en que se han presentado varios incendios en la región. Los eventos de incendio, aunados a la tala incontrolada y en algunos casos al sobrepastoreo son la causa probable de la prevalencia de los MDR secundarios, en muchos casos asociados con especies de chaparral de *Quercus* spp.

En el matorral del valle de Jaumave se presentan varias especies de maguey (*Agave* spp.), *Yucca* sp., sangre de drago y cactus tipo bisnaga, así como otras suculentas; mientras que en el MDR de las altas montañas se presentan *Nolina* sp. como dominante, *Quercus* spp, y algunas cactáceas. Algunas especies, como la lechuguilla, son aprovechadas en la obtención de fibras para cordelería y jarcería, además de elaboración de bebidas alcohólicas y forraje. La vegetación secundaria de esta comunidad presenta especies tales como huizache, cadillo (*Xanthium strumarium*), tabaquillo (*Nicotiana glauca*) y varias especies exóticas de pasto como el zacate Buffel. En el Cuadro IV.1.3.1.-6 se presentan algunas especies típicas de este tipo de vegetación.

Cuadro IV.1.3.1.-6. Ejemplo de especies del matorral desértico rosetófilo en la zona de estudio.

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Agavaceae	Arbóreo	<i>Yucca carnerosana</i>	Yuca	Flor comestible cocinada
Agavaceae	Arbóreo	<i>Y. filifera</i>	Izote	Ornato
Agavaceae	Arbustivo	<i>Agave lechuguilla</i>	Lechuguilla	Empleada en jarcería

CONTINÚA...

Cuadro IV.1.3.1.-6. Ejemplo de especies ... CONTINÚA

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Agavaceae	Arbustivo	<i>Agave</i> sp.	Agave	Ornato
Leguminosae	Arbustivo	<i>Prosopis laevigata</i>	Mezquite	Maderable
Fabaceae	Arbustivo	<i>Cercidium texanum</i>	Palo verde	Oportunista
Boraginaceae	Arbustivo	<i>Cordia boissieri</i>	Anacahuita	Ornato
Cactaceae	Herbáceo	<i>Opuntia</i> sp.	Nopal	Hoja y fruto comestibles
Cactaceae	Herbáceo	<i>Ferrocactus victorensis</i>	Bisnaga	Endémica. Protegida.
Euphorbiaceae	Herbáceo	<i>Jatropha dioica</i>	Sangre de drago	Medicinal

La clase “**Mezquital (incluye huizachal)**” es agrupada en la serie III de [INEGI \(2005\)](#) para el país en tres subgrupos, todos con presencia en la cuenca. La distribución total en la cuenca es de 50, 568 hectáreas, incluyendo sitios con y como vegetación secundaria, huizachales y relictos (Figura IV.1.3.1.-12). La mayor superficie la reportan para las zonas bajas de la Sierra de Tamaulipas, donde domina *Prosopis glandulosa* y la caracterizan como “mezquiales espinosos”, que son una variante de la SBE, con quien se asocia en su distribución, tal como se observó en este trabajo.

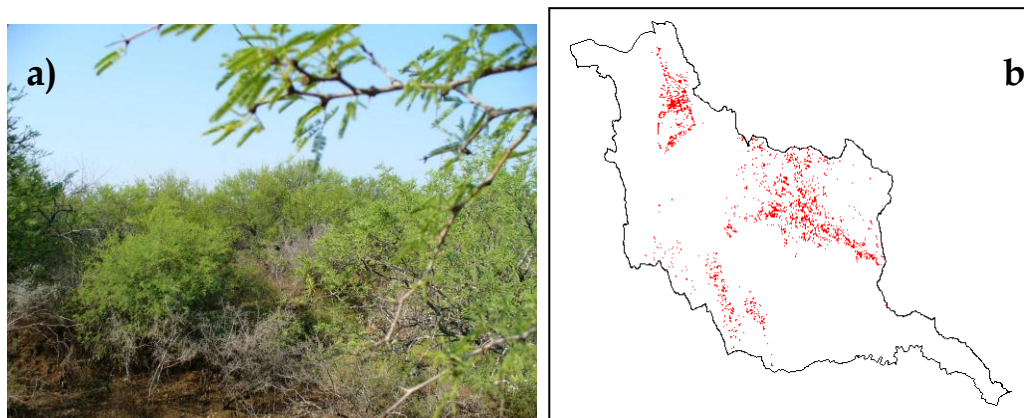


Figura IV.1.3.1.-12. (a) Mezquital en el ejido Morelos, municipio de Jaumave; (b) distribución en la cuenca.

El mezquital de características más xerófilas se ubica en el valle de Jaumave, donde dominan *P. glandulosa* y *P. laevigata* en formas arbustivas y algunas veces arbóreas. Finalmente, una pequeña superficie del tercer grupo “los mezquiales propiamente dichos”, con vegetación secundaria arbustiva, se ubica al sur de Jaumave, pero ese sitio aparece en este estudio como suelo desnudo, suelo agrícola y algunos relictos de mezquital. Se presentan en climas secos y semisecos cálidos, donde los suelos son de pendiente suave, profundos y con abundante materia orgánica.

Por esta razón, son terrenos aptos para agricultura, por lo que han sido erradicados de gran parte de su distribución original. Por ello, se debe señalar que el 84.6% de esta comunidad se presenta en la cuenca ya sea como vegetación secundaria, o bien con alto grado de disturbio, donde dominan en su forma arbustiva mezquite, huizache, guamúchil, y retama, acompañados de cactus como cardoncillo y nopales, y malezas como la “mala mujer” (*Cnidoscolus multilobus*) y diferentes especies de pasto. El Cuadro IV.1.3.1.-7 muestra especies encontradas en este tipo de vegetación.

Cuadro IV.1.3.1.-7. Ejemplo de especies en el mezquital-huizachal de la zona de estudio.

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Leguminosae	Arbóreo	<i>Prosopis laevigata</i>	Mezquite	Maderable
Leguminosae	Arbustivo	<i>Acacia rigidula</i>	Chaparro prieto	
Leguminosae	Arbóreo/arbustivo	<i>A. farnesiana</i>	Huizache	Oportunista
Leguminosae	Arbustivo	<i>Pithecellobium ebano</i>	Ébano	Maderable
Leguminosae	Arbóreo/arbustivo	<i>P. dulce</i>	Guamúchil	Fruto comestible
Leguminosae	Arbustivo	<i>Parkinsonia aculeata</i>	Retama, palo verde	Ornato
Fouquieriaceae	Arbustivo	<i>Fouquieria splendens</i>	Ocotillo	Cercos vivos
Ulmaceae	Arbustivo	<i>Celtis pallida</i>	Granjeno	
Cactaceae	Arbustivo	<i>Opuntia</i> spp.	Nopal	Comestible
Ephorbiaceae	Herbáceo	<i>Croton</i> sp.	Salvia	Oportunista, medicinal
Cactaceae	Arbustivo	<i>Cylindropuntia kleiniae</i>	cardoncillo	Cacto muy espinoso
Cactaceae	Trepadora	<i>Acanthocercus tetragonus</i>	Jacube	Comestible

Es importante mencionar que se encontró al sureste de la cuenca una importante superficie de mezquital/huizachal no cartografiada por otras instancias, donde también “sigue” la distribución de SBE que menciona [INEGI \(2009a\)](#). En este caso se trata de parcelas en condición de abandono o superficies afectadas por incendios, donde ha progresado vegetación espinosa (principalmente huizache) en sustitución de cultivos o selvas bajas.

La **Selva alta y mediana subperennifolia** es conocida también como “bosque tropical perennifolio”, y se caracteriza porque casi todos sus elementos son perennes, con alturas de 20 m en promedio. Son propias de suelos cercanos a corrientes de agua o situados en zonas protegidas, o bien en zonas con pendiente moderada en los que se presentan los climas de mayor humedad y altitudes hasta 950 msnm. Las instituciones oficiales ([INEGI, 2005](#) y [UNAM, 2000](#)) sólo las reportan en los municipios de Ocampo y Gómez Farías, pero en este análisis, al igual que para la selva mediana, se encontró en las sierras Chiquita, de Cucharas y en porciones protegidas de la Sierra de Tamaulipas (Figura IV.1.3.1.-13), donde sustituye superficies clasificadas por **INEGI** como selvas bajas y medianas caducifolias y subcaducifolias. Ocupa poco más de 32,120 hectáreas en la cuenca, y se llega a mezclar con selvas más bajas.

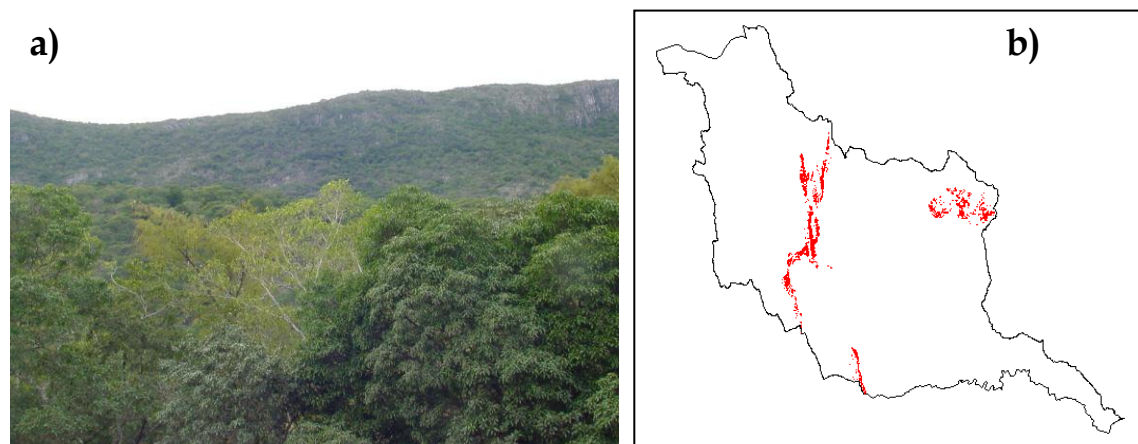


Figura IV.1.3.1.-13. (a) Selva mediana subperennifolia cercana a la Bocatoma, municipio de Gómez Farías; (b) distribución en la cuenca.

Cabe mencionar que uno de los mayores polígonos reportados por INEGI (2005) para esta comunidad ha sido sustituido casi por completo por pastizales cultivados, lo que es visiblemente notorio incluso desde el visualizador Google Earth™ (Figura IV.1.3.1.-14).

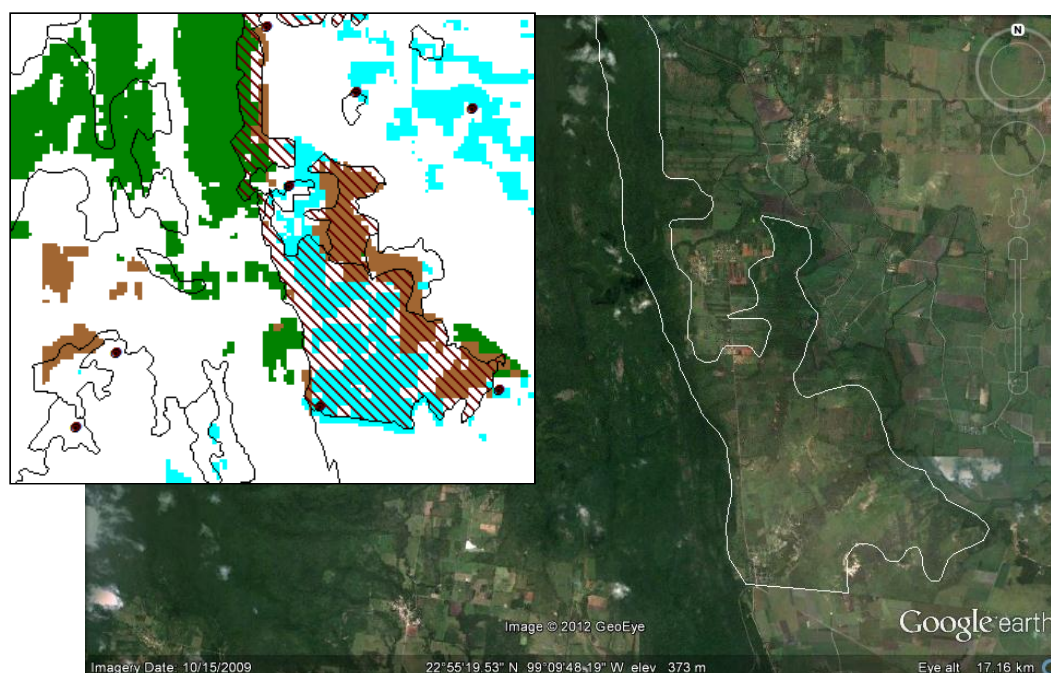


Figura IV.1.3.1.-14. Distribución aproximada del INEGI (2005) de la selva mediana subperennifolia sobre imagen del 2000 de Google Earth. En el inserto se muestra el polígono de INEGI (en achurado de rayas), así como la distribución encontrada en este trabajo para SAMS (verde), pastizal cultivado (azul) y palmar (marrón). Este sitio fue verificado en campo para estos tres tipos de vegetación.

Dentro del estrato arbóreo se encuentran especies como el ojite, el orejón y el cedro. Aunque no fue posible discriminar zonas de la correspondiente cobertura con vegetación secundaria, algunas especies se presentan en esta selva, y son comunes con otras de las selvas más bajas: huizache, guácima, etc.; contiene además especies introducidas, principalmente algunos frutales como mango, diferentes pastos y árboles de ornato como el framboyán. Es común que se encuentren algunas epífitas como *Rhipsalis baccifera* y *Tillandsia* spp. En el Cuadro IV.1.3.1.-8 se muestran ejemplos de especies reportadas para esta comunidad.

Cuadro IV.1.3.1.-8. Ejemplo de especies en la selva mediana subperennifolia de la zona de estudio.

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Rubiaceae	Arbóreo	<i>Exostema mexicanum</i>	Quina	
Rubiaceae	Arbóreo	<i>Chione mexicana</i>	Colorín	
Meliaceae	Arbóreo	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	maderable
Leguminosae	Arbóreo	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Orejón	Alcanza gran porte
Moraceae	Arbóreo	<i>Brosimum alicastrum</i>	Ojite	Maderable
Leguminosae	Arbóreo	<i>Lysiloma divaricata</i>		Ornato
Ulmaceae	Arbóreo	<i>Mirandaceltis monoica</i>	Cuerillo	Maderable
Euphorbiaceae	Arbustivo	<i>Savia sessiliflora</i>	Amansa guapo	
Euphorbiaceae	Arbustivo	<i>Acalypha schiedana</i>		Ornato
Achatocarpaceae	Arbustivo	<i>Achatocarpus nigricans</i>	Arriendavacas	
Arecaceae	Arbustivo	<i>Chamaedorea radicalis</i>	Palma cameador	Recurso forestal no maderable
Araceae	Trepadora	<i>Syngonium podophyllum</i>	Romeo	Ornato

Bosque de pino. También llamado bosque de coníferas, se caracteriza por la dominancia de este tipo de plantas. Alcanza alturas hasta de 40 m en algunos sitios y se presenta en las partes más altas y frías de la cuenca (Figura IV.1.3.1.-15), ocupando 30 mil hectáreas. Forman comunidades casi puras o mezcladas con otros elementos, como encinos o *Liquidambar*.

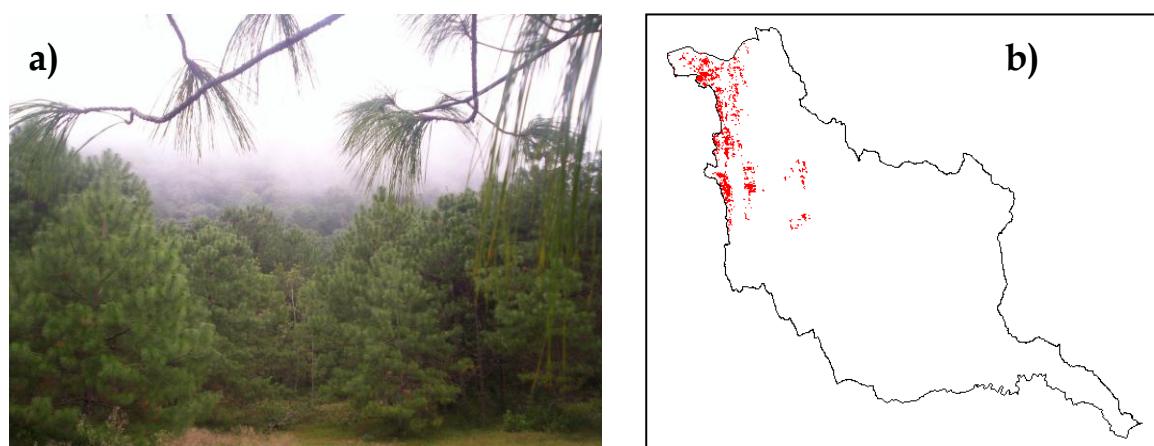


Figura IV.1.3.1.-15. (a) Bosque de pino en El Cielo; (b) distribución en la cuenca.

La obtención de madera en cantidades comerciales, así como los incendios recurrentes por las sequías intensas han afectado significativamente a esta comunidad en la cuenca. Es así que se presenta vegetación secundaria en la que destacan agaves, huizache y algunas palmeras. En el Cuadro IV.1.3.1.-9 se presentan plantas encontradas en esta comunidad.

Cuadro IV.1.3.1.-9. Ejemplo de especies en el bosque de pino de la zona de estudio.

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Pinaceae	Arbóreo	<i>Pinus teocote</i>	Ocote	Maderable
Pinaceae	Arbóreo	<i>P. pseudostrobus</i>	Pino tecatudo	Maderable
Pinaceae	Arbóreo	<i>P. patula</i>	Pino nailon	Maderable
Pinaceae	Arbóreo	<i>Abies vejari</i>	Oyamel	
Cupressaceae	Arbóreo	<i>Juniperus flaccida</i>	Cedro blanco	
Cupressaceae	Arbóreo	<i>Cupressus benthamii</i>	Cedro blanco	Maderable
Betulaceae	Arbóreo	<i>Ostrya virginiana</i>		Rara
Leguminosae	Arbustivo	<i>Acacia farnesiana</i>	Huizache	Oportunista
Leguminosae	Arbustivo	<i>Prosopis</i> sp.	Mezquite	Maderable
Cactaceae	Arbustivo	<i>Opuntia</i> sp.	Nopal	Hoja y fruto comestible
Agavaceae	Herbáceo	<i>Agave</i> sp.	Maguey	Tradicional
Liliaceae	Herbáceo	<i>Asphodelus fistulosus</i>		Ornato

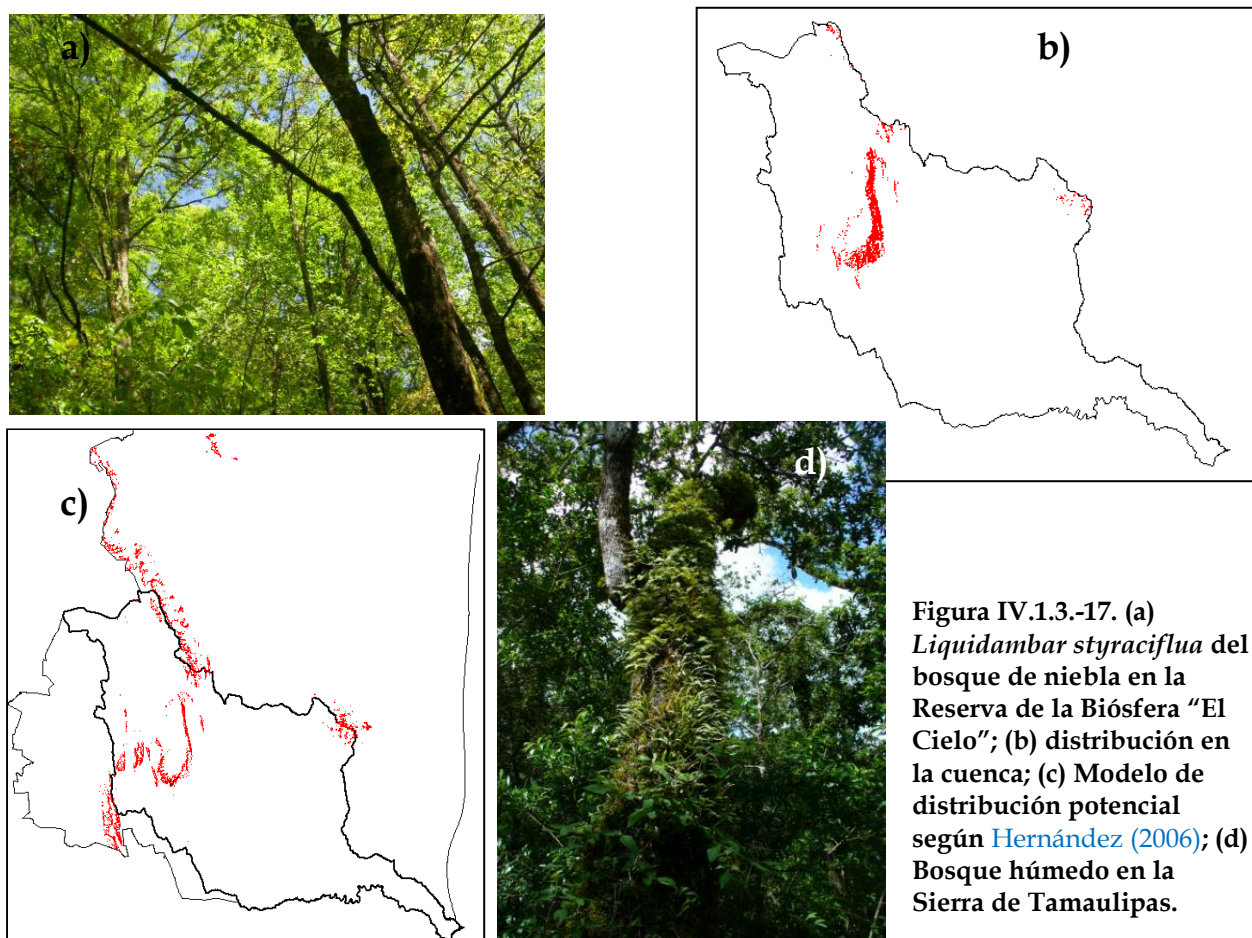
El bosque de niebla, Bosque mesófilo de montaña o **Bosque húmedo de montaña** se caracteriza por desarrollarse en condiciones de alta humedad y temperatura templada, lo que le permite una vegetación arbórea densa, mezcla de elementos templados y tropicales. Ha sido ampliamente estudiado, por lo que se reporta un número importante de especies endémicas y con algún estatus de protección. Muestra abundancia de helechos, musgos, lianas y epífitas, por lo que, aunado a la constante presencia de

nubes, lo convierte en el más bello y místico de los bosques no sólo de la cuenca, sino de todo el estado (Figura IV.1.3.1.-16).



Figura IV.1.3.1.-16. Imágenes del bosque de niebla en la Reserva de la Biósfera “El Cielo”.

Se distribuye básicamente (Figura IV.1.3.1.-17b) en sitios orientados al Golfo de México sobre la Sierra Madre, especialmente en **El Cielo**. En este trabajo se encontraron casi 29 mil hectáreas de este bosque, que incluyen algunos relictos en la Sierra de Tamaulipas y en otros sitios fuera de la distribución registrada por los organismos oficiales.



Sin embargo, en su estudio de distribución potencial del BMM, [Hernández \(2006\)](#) sugiere que puede encontrarse en una mayor superficie, tanto al sur y al norte de la registrada actualmente, como en la Sierra de Tamaulipas y otros sitios del estado fuera del área de estudio (Figura IV.1.3.1.-17c). Aunque hacen falta estudios más específicos para confirmar que los bosques observados en la Sierra de Tamaulipas, o los predichos

por el modelo, pueden llamarse BMM, es útil señalar que uno de los nombres que recibe es “bosque de niebla” por la presencia generalizada de nubosidad. Se seleccionó al azar la imagen número 256, que corresponde a los meses húmedos y se observó la distribución nubosa de 2008 a 2011. La Figura IV.1.3.1.-18 muestra la distribución de nubes y su comparación con la del modelo generado.

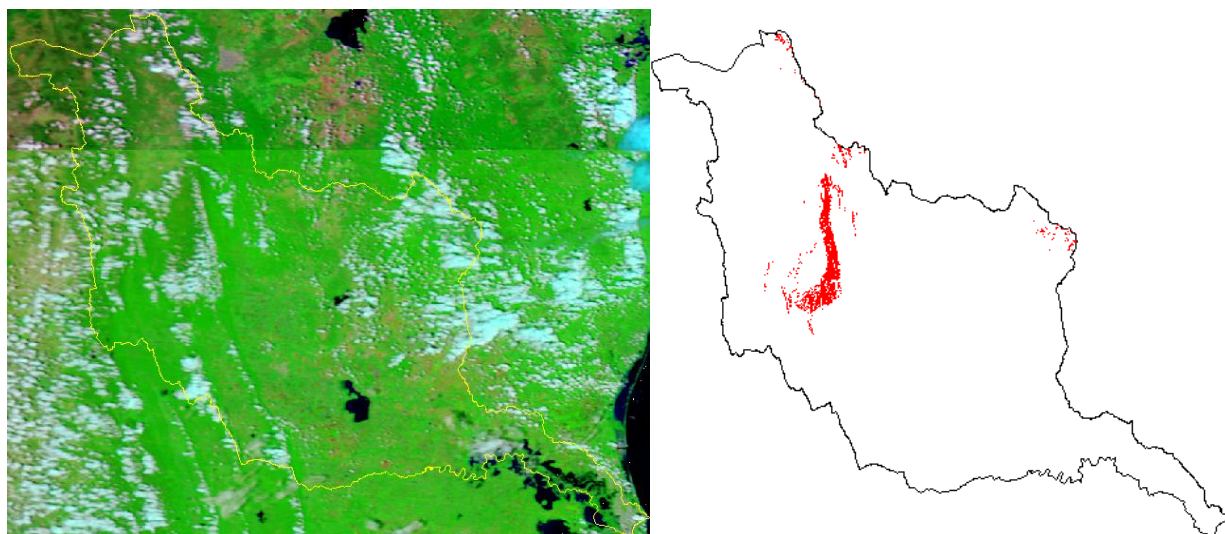


Figura IV.1.3.1.-18. Imagen MODIS 7-2-1 (Aqua) del 13 de septiembre de 2010. (a) que muestra la distribución nubosa, para comparativa visual con el modelo de distribución del bosque de niebla (b).

El estrato arbóreo de este bosque alcanza 20 m de altura, y se encuentra muchas veces dominado por *Liquidambar styraciflua* y varias especies de encinos. Destaca también la presencia de *Magnolia tamaulipana*, que es una especie endémica, de una familia primitiva, cuyas flores de gran porte y fino aroma la hacen muy apreciada como ornato.

El aprovechamiento forestal y el pastoreo mal manejados han provocado disturbios de importancia en este bosque. Aunque en la literatura y en el SIG no se presenta este bosque con vegetación secundaria, en las observaciones de campo se registraron varios individuos de la “mala mujer”, especie indicadora de disturbio; mientras que cercanos a la comunidad de San José, se encontraron perales como cultivo de especies exóticas. En el Cuadro IV.1.3.1.-10 se muestran algunas especies registradas en este bosque.

Cuadro IV.1.3.1.-10. Ejemplo de especies presentes en el bosque de niebla de la zona de estudio.

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Hamamelidaceae	Arbóreo	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Copalillo	Dominante
Magnoliaceae	Arbóreo	<i>Magnolia tamaulipana</i>	Magnolia	Ornato, endémica
Podocarpaceae	Arbóreo	<i>Podocarpus reichei</i>	Moquito	Rara
Fagaceae	Arbóreo	<i>Quercus sartori</i>	Encino blanco	
Fagaceae	Arbóreo	<i>Q. germana</i>	Encino roble	
Juglandaceae	Arbóreo	<i>Carya ovata</i> var. <i>mexicana</i>	Nogalillo	
Abietaceae	Arbóreo	<i>Abies vejarii</i>	Oyamel	Amenazada
Clethraceae	Arbustivo	<i>Clethra pringlei</i>	Pomarrosa	
Zamiaceae	Arbustivo	<i>Ceratozamia kuesteriana</i>	Chamal	P. de extinción (UICN)
Illiciaceae	Arbustivo	<i>Illicium floridanum</i>	Mata caballos	
Asteraceae	Herbáceo	<i>Dahlia coccinea</i>	Dalia	Ornato
Orchidaceae	Epífita	<i>Stanhopea tigrina</i>	Orquídea	Amenazada
Piperaceae	Trepadora	<i>Peperomia obtusifolia</i>		Ornato

La comunidad de **Popal-tular** se presenta solamente como tulares en el área de estudio, distribuyéndose en casi 15 mil hectáreas. Se caracteriza por ser una asociación de plantas herbáceas enraizadas en las áreas más someras de cuerpos de lagos y lagunas. Aunque se dice de las comunidades en que domina el tule (*Typha domingensis*), también aquí se clasifican los carrizales. Tanto el tule como el carrizo son utilizados en la elaboración de diversas artesanías como muebles, cestos, tapetes, piñatas, etc. La distribución de estas comunidades es amplia, ya que existen humedales en diversos sitios de la cuenca; no obstante, por la unidad de trabajo mínima cartografiable, trabajos anteriores (Requena, 2008; INEGI, 2005) consideran esta vegetación sólo en el sistema lagunar del Tamesí, pero el trabajo de clasificación aquí utilizado logró encontrarlos en zonas inundables de las presas principales (Figura IV.1.3.1.-19).

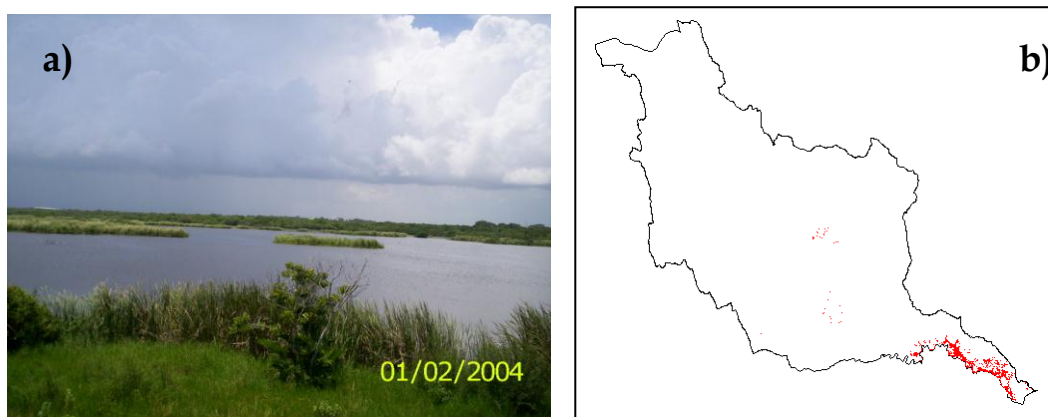


Figura IV.1.3.1.-19. (a)Tular cerca de Altamira (foto: cortesía de Karla Lara); (b) distribución en la cuenca.

Aunque en la cuenca no se registran comunidades con vegetación secundaria, se observaron especies indicadoras de disturbio, como la “tronadora”, el cafecillo (*Sesbania herbacea*) y las invasoras introducidas *Eichhornia crassipes* (lirio acuático) e *Hydrilla verticillata*. Algunas especies características se muestran en el Cuadro IV.1.3.1.-11.

Cuadro IV.1.3.1.-11. Ejemplo de especies del tular y carrizal en la zona de estudio.

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Typhaceae	Herbáceo	<i>Typha domingensis</i>	Tule o junco	Dominante. Material artesanal.
Leguminosae	Arbustivo	<i>Mimosa pigra</i>	Vergonzosa	Presenta haptoneustia
Gramineae	Arbustivo	<i>Arundo donax</i>	Carrizo	Material artesanal.
Gramineae	Arbustivo	<i>Phragmites australis</i>	Carrizo	Dominante. Material artesanal.
Cyperaceae	Herbácea	<i>Carex</i> sp.	Pasto	
Poaceae	Herbácea	<i>Cynodon plectostachyus</i>	Zacate estrella	Invasor

Las comunidades de **Palmar** se caracterizan por la dominancia de plantas monopódicas de la familia Palmaceae (CONAFOR, 2006). Las registradas en la cuenca por parte de INEGI y CONAFOR se limitan sólo a unos pequeños manchones en Gómez Farías y Ocampo; no obstante, la UAT (2001) reporta que, como pudo demostrarse en este trabajo, existen palmares como parte de la vegetación secundaria de selvas bajas caducifolias y subcaducifolias, y que se encuentran pequeños grupos de individuos en algunos sitios en zonas áridas y laderas de sierras; además, el modelo obtenido predijo ubicaciones que, aunque no se confirmaron en campo, son fáciles de comprobar por medio del análisis visual de imágenes de muy alta resolución disponibles en el Google Earth™.

La Figura IV.1.3.1.-20 muestra la apariencia de la textura de la imagen con palmares naturales en un sitio predicho por el modelo (sur del poblado El Mirador, municipio de Ocampo), que no fue posible visitar en campo. Esta cobertura es fácilmente identificable debido a la forma regular de las palmeras.



Figura IV.1.3.-20. Textura en imagen de muy alta resolución (GeoEye en Google Earth™), que indica presencia de palmar natural (dentro de los límites amarillos) y parte del mismo afectado por un incendio (en rojo)

En total, se cuantificaron poco más de siete mil seiscientos noventa hectáreas en los municipios de Ocampo, Gómez Farías y Antiguo Morelos (Figura IV.1.3.1.-21), así como algunos manchones importantes en el municipio de Altamira, que no aparecen en las coberturas anteriores (UNAM, 2000; INEGI, 2005).



Figura IV.1.3.1.-21. (a) Palmares en el municipio de Gómez Farías; (b) distribución en la cuenca.

Esta comunidad no se tiene como clímax o primaria, sino que se conforma de elementos que ven favorecida su aparición por impactos como deforestación o incendios, razón por la cual se considera como indicadora de disturbio. Además, sus características le permiten adaptarse a diversos ecosistemas, por lo que aparecen desde la costa, hasta zonas áridas y alpinas (UAT, 2001). En el Cuadro IV.1.3.1.-12 se presentan algunas de las especies que suelen formar parte de los palmares en la cuenca.

Cuadro IV.1.3.1.-12. Ejemplo de especies en los palmares de la zona de estudio.

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Arecaceae	Arbóreo	<i>Sabal mexicana</i>	Palma real	Hojas para techo, tallo para construcción, fruto comestible. Indicadora de disturbio.
Arecaceae	Arbóreo	<i>Brahea</i> spp.	Palma dulce	Fruto comestible. Tejidos artesanales.
Arecaceae	Arbóreo	<i>Acrocomia mexicana</i>	Coyol	Medicinal. Fruto comestible
Leguminosae	Arbóreo	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Orejón	Alcanza gran porte
Sterculiaceae	Arbóreo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guácima	Oportunista
Moraceae	Trepador	<i>Ficus cotinifolia</i>	Higuerón, matapalo	Crece como huésped en las palmeras y acaba ahogándolas

La principal causa de disturbio en estas comunidades es debida a la explotación de las palmas para construcción de viviendas, la extracción de hoja de palma tierna para fabricación de artesanías diversas, así como por los incendios.

El **Bosque de táscate** también es conocido como “bosque de enebro”, y está constituido principalmente por algunas especies del género *Juniperus*, algunos pinos y se acompaña de individuos rosetófilos como lechuguilla y agave (Cuadro IV.1.3.1.-13). En la vegetación secundaria ocurren algunas palmas, ébano, *Yucca* sp, agave, nopal y huizache; como introducidas se registraron algunos pastos como el Buffel.

Cuadro IV.1.3.1.-13. Ejemplo de especies en los bosques de táscate de la zona de estudio.

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Cupressaceae	Arbóreo	<i>Juniperus flaccida</i>	Enebro, táscate, cedro chino	Maderable, ornato, cortina rompevientos
Cupressaceae	Arbóreo	<i>J. monosperma</i>	Yunípero arbustivo	Cercos vivos
Cupressaceae	Arbóreo	<i>J. deppeana</i>	Enebro	Leña, medicinal
Fagaceae	Arbóreo	<i>Quercus</i> sp.	Encino	Maderable
Pinaceae	Arbóreo	<i>Pinus cembroides</i>	Pino piñonero	Maderable, semilla comestible
Pinaceae	Arbóreo	<i>Pinus</i> sp.	Pino	Maderable
Boraginaceae	Arbustivo	<i>Cordia boissieri</i>	Anacahuita	Ornato
Leguminosae	Arbustivo	<i>Leucaena glauca</i>	Guaje	Forraje
Agavaceae	Herbáceo	<i>Agave lechuguilla</i>	Lechuguilla	Empleada en jarcería
Cactaceae	Herbáceo	<i>Opuntia rastrera</i>	Nopal rastrero	Comestible

Se distribuye en la cuenca (Figura IV.1.3.1.-22) hacia el extremo occidental del municipio de Jaumave, así como en la porción correspondiente a Bustamante, ocupando poco más de tres mil quinientas hectáreas. Son de distribución limitada en el estado, encontrándose en la cuenca debido a que requieren un clima ya sea semiseco o templado subhúmedo, suelos conglomerados y altitudes de 1,400 a 2,000 msnm. Son aprovechados principalmente para la obtención de productos no maderables, como el piñón, así como para fabricación de leña; por lo que los incendios y el sobrepastoreo son su principal causa de disturbio.

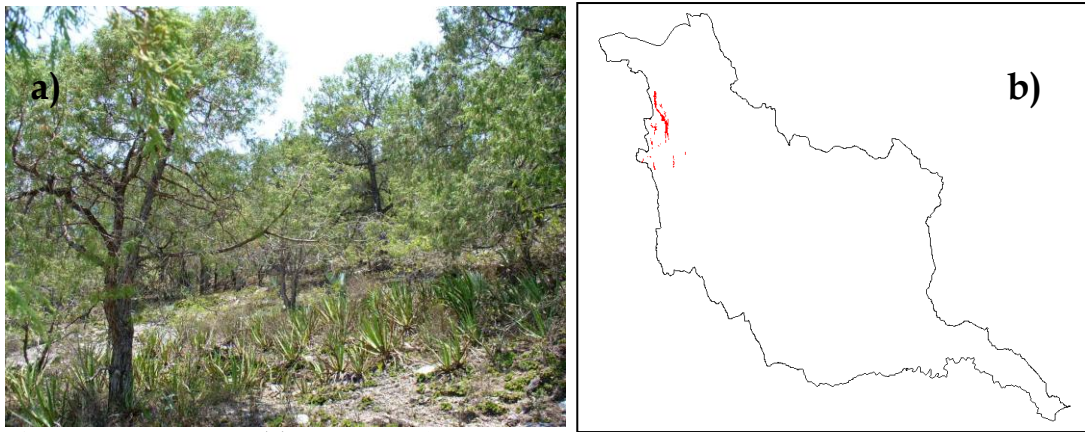


Figura IV.1.3.1.-22. (a) Bosque de Táscate (*Juniperus flaccida*) en el ejido Magdalena Aguilar, municipio de Jaumave; (b) distribución en la cuenca.

La **Vegetación de galería** es una comunidad vegetal que se desarrolla en márgenes de afluentes y cuerpos de agua dulce perennes, con condiciones de humedad favorables. Se considera dentro de esta comunidad el **bosque, la selva y la vegetación de galería**, estando presentes en la cuenca estos tres subtipos; su diferencia radica en que los dos últimos integran en su fisonomía elementos subarbóreos y arbóreos predominantes (CONAFOR, 2006), INEGI (2005) y UNAM (2000) la registran sólo en el municipio de Llera, pero esos sitios no son observables a través de Google Earth™, esto es debido a que la escala de trabajo no permite cartografiar superficies del tamaño de esta comunidad en la mayoría de los afluentes. No obstante, en este trabajo se lograron detectar algunos relictos en Xicoténcatl y en González (Figura IV.1.3.1.-23).

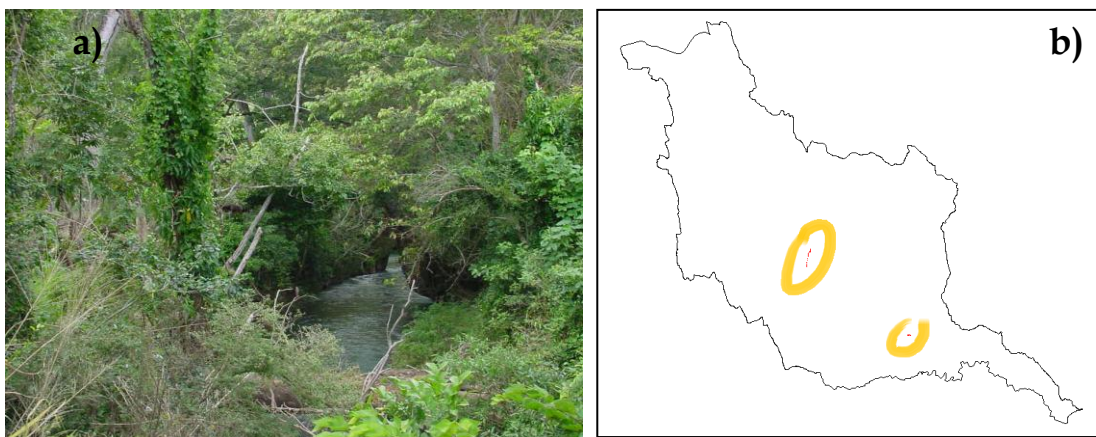


Figura IV.1.3.1.-23. (a) Vegetación de galería tipo selva en la margen del Río Frío, en el municipio de Gómez Farías; (b) distribución en la cuenca.

Cabe mencionar que el relicto de González se detectó debido a una falla en la clasificación que data desde la Serie I y que le identifica al sitio como “cuerpo de agua”. En total, se contabilizaron 324 hectáreas de esta vegetación relicta en la zona.

La vegetación riparia se considera de alta biodiversidad y con variada fisonomía y estructura. Presenta gran capacidad de sobrevivencia a inundaciones temporales y de rápida invasión en áreas expuestas tales como bancos de grava. Su gran importancia ecológica se debe a que, en primera instancia, sirven de corredores biológicos, hábitat y refugio de diversas especies de fauna; en segunda, a que sirven como filtro entre el río y los ambientes adyacentes, manteniendo la calidad del agua y protegen los terrenos contra inundaciones y erosión (Treviño, *et al.*, 2001).

Dependiendo de su ubicación en la cuenca, la vegetación de galería se presenta ya sea como bosques o selvas; los primeros se ubican en aquellos afluentes de corriente más estable, por su amplitud y su velocidad lenta; generalmente con dominancia de sabinos en la porción central de la cuenca media y álamo y sauce en las porciones más norteñas. Las selvas riparias son propias de los afluentes en las regiones más húmedas, con corrientes rápidas y estrechas; en ellas se presentan especies como el jaboncillo, ojite y sabino.

Incluye una gran variedad de especies herbáceas que forman parte del sotobosque. Se presentan diversas especies de helechos, la vergonzosa, el chilillo, cardinal, cardo, y el cardo santo. Además existen numerosas epífitas como el paixtle (heno) y diversas bromelias, así como trepadoras como el romeo y varias especies de *Ipomea*. Ejemplos de las especies en esta comunidad se muestran en el Cuadro IV.1.3.1.-14.

Cuadro IV.1.3.1.-14. Ejemplo de especies en la vegetación de galería.

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Taxodiaceae	Arbóreo	<i>Taxodium mucronatum</i>	Sabino	Dominante
Meliaceae	Arbóreo	Melia azedarach	Canelo	Ornato, odorífera
Salicaceae	Arbóreo	<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce	Ornato
Platanaceae	Arbóreo	<i>Platanus rzedowski</i>	Álamo	Ornato
Moraceae	Arbóreo	<i>Brosimum alicastrum</i>	Ojite	Maderable
Leguminosae	Arbóreo	<i>Inga vera</i>	Chalahuite	Abundante
Sapindaceae	Arbóreo	<i>Sapindus saponaria</i>	Jaboncillo	Maderable, fruto fuente de saponina
Apocynaceae	Arbustivo	<i>Thevetia peruviana</i>	Yoyote, diamante	Ornato, tóxico, medicinal
Gramineae	Arbustivo	<i>Phragmites australis</i>	Carrizo	Dominante. Material artesanal.
Leguminosae	Arbustivo	<i>Mimosa pigra</i>	Vergonzosa	Presenta haptoneustia
Asteraceae	Herbáceo	Cirsium vulgare	Cardo	
Lobeliaceae	Herbáceo	<i>Lobelia cardinalis</i>	Cardinal	
Asclepiadaceae	Herbáceo	<i>Asclepias curassavica</i>	Chilillo	Oportunista
Papaveraceae	Herbáceo	<i>Argemone mexicana</i>	Chicalote, Cardo	Oportunista, generalista
Equisetaceae	Herbáceo	<i>Equisetum</i> sp.	Cola de caballo	Único género en su taxa a nivel división
Apiaceae	Herbáceo	<i>Hydrocotyle verticillata</i>	Patitos	Abundante en zonas de disturbio
Araceae	Herbáceo	<i>Xanthosoma robustum</i>	Oreja de elefante	Inducida. Ornato
Commelinaceae	Herbáceo	<i>Commelina communis</i>		Ornato
Dennstaedtiaceae	Herbáceo	<i>Pteridium aquilinum</i>	Helecho hembra	Oportunista, generalista
Bromeliaceae	Epífita	<i>Tillandsia balansae</i>	Bromelia	
Bromeliaceae	Epífita	<i>T. usneoides</i>	Paixtle o heno	Ornato tradicional
Convolvulaceae	Trepadora	<i>Ipomea hederifolia</i>		
Araceae	Trepadora	<i>Syngonium podophyllum</i>	Romeo	Ornato

Los principales disturbios a esta comunidad se deben a su remoción para actividades humanas, que van desde formación de senderos hasta la construcción de puentes, viviendas y áreas recreativas. Las especies de vegetación secundaria más comunes en este tipo de comunidad son palma, framboyán (inducida), mezquite, carrizo, guácima, etc.

Aunque no forma parte de la vegetación terrestre, y por los mismos motivos que en este trabajo no se cartografía la mayor parte de la vegetación de galería, la **vegetación acuática** flotante, la sumergida y semisumergida se establece en los cuerpos de agua dulce perennes de la cuenca. Ha sido estudiada por [Mora-Olivo y Villaseñor \(2007\)](#), quienes elaboraron una base de datos de esta comunidad con registros en los diversos cuerpos de agua en Tamaulipas, incluso de sitios no permanentes (Figura IV.1.3.1.-24).

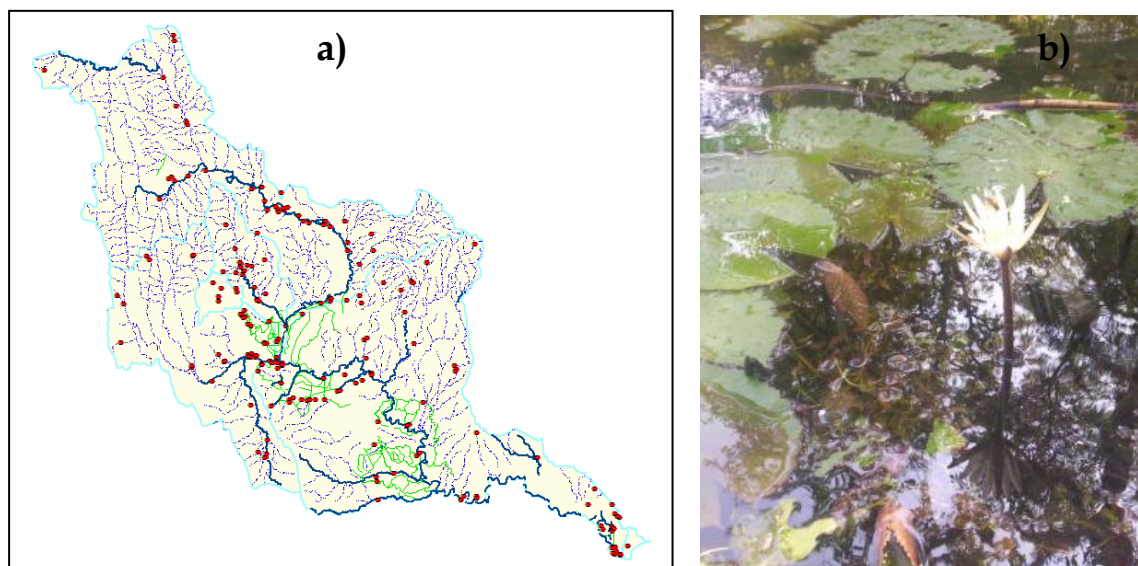


Figura IV.1.3.1.-24. (a) Vegetación acuática en la cuenca (puntos rojos), registrada por [Mora-Olivo y Villaseñor \(2007\)](#). Las líneas representan afluentes de agua superficial: azul oscuro, perenne; azul discontinuo, intermitente, verde, canal; los límites de subcuenca se representan en celeste. (b) Reina del agua en el arroyo San Rafael, municipio de Mante.

Entre la vegetación acuática de la cuenca se encuentran gramíneas, lirios y nenúfares, entre otras. Estas comunidades se encuentran impactadas principalmente por la introducción de especies exóticas que representan un gran problema a nivel regional y nacional, como es el caso del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y de la hidrila (*Hydrilla verticillata*), que invaden los cuerpos de agua incluso hasta hacer desaparecer el ecosistema.

El **Manglar** ocupa dentro de los límites de la cuenca poco más de 250 hectáreas en el sistema lagunar del Tamesí, poco más de la mitad de la reportada por [UNAM \(2000\)](#), debido a un error en la definición de los límites para este trabajo. Por ello, es la comunidad vegetal menos representada en la cuenca, existiendo evidencias de una pérdida de casi un 70% de su cobertura arbórea original en el mencionado sistema lagunar ([Foroughbakhch, et al., 2004](#)).

[UNAM \(2000\)](#) lo registra solamente en el municipio de Tampico, en el mismo sitio que se cartografía su mayor superficie mediante este trabajo; por su parte, [INEGI \(2005\)](#) sólo detecta dos hectáreas, una en el mismo sitio mencionado y otra unos cientos de metros río arriba. La Figura IV.1.3.1.-25 muestra la ubicación de manglares detectados por este trabajo; aunque grupos de individuos se observaron en otras lagunas del sistema del Tamesí, no son lo suficientemente grandes para la escala trabajada.

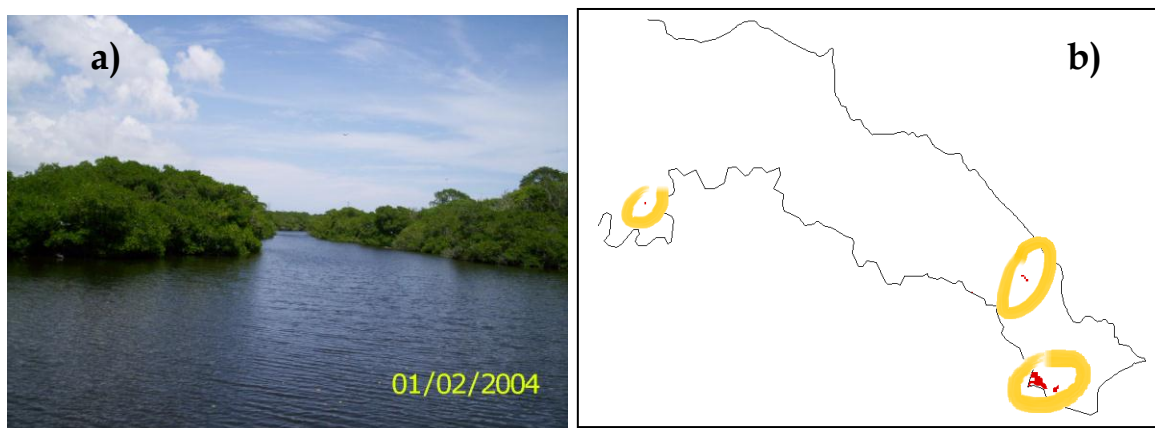


Figura IV.1.3.1.-25. (a) Manglares en el municipio de Tampico; (b) distribución en la cuenca

Este bosque consiste de individuos arbóreos conocidos como manglares, que en la región alcanzan alturas de hasta 10m; éstos presentan raíces parcialmente aéreas y son propios de zonas bajas y fangosas de las costas, con ocurrencia de agua salobre. Esta comunidad es de suma importancia para los ecosistemas costeros y para las pesquerías de la región, debido a que funcionan como áreas de refugio, reproducción y crianza de especies de importancia comercial; tales como el camarón, ostión, jaiba y diversas especies de escama. Las especies que se presentan son *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Avicenia germinans* (mangle negro) y *Conocarpus erecta* (cedrillo).

Entre los principales problemas del manglar como ecosistema en la cuenca, es que el crecimiento acelerado de la zona conurbada de Tampico le arroja cantidades peligrosas de contaminación urbana e industrial, lo que afecta directamente a las pesquerías regionales. Sin embargo, como comunidad vegetal es altamente tolerable a ciertos contaminantes, ya que metales pesados como plomo, cadmio y cromo son retirados del agua y captados por las raíces de los manglares; por lo tanto, su mayor amenaza es el aprovechamiento de la madera en construcción de pangas (Foroughbakhch, *et al.*, 2004).

Finalmente, es necesario mencionar que se tienen registros de la existencia de **Vegetación Halófila** en la cuenca diferente a los manglares. Esa vegetación se desarrolla sobre suelos con alto contenido de sales. Por las características de los suelos salinos de la cuenca, es posible el desarrollo de esta comunidad sólo en los límites sur de los municipios de Altamira y González, como indica UNAM (2000, Figura IV.1.3.1.-26). No obstante, en este trabajo no fue posible cartografiarla debido a que es un primer filtro sería clasificarla como suelo desnudo o agricultura, pero se carecía del factor ecogeográfico imprescindible para su discriminación, que es el tipo de suelos, ya que la cartografía digital edafológica de INEGI (2000) disponible para este estudio no delimita este sitio como suelo halófilo.



Figura IV.1.3.1.-26. (a) Asociación de *Sesuvium portulacastrum* y *Suaeda nigra* en la vegetación halófila del municipio de Altamira; (b) distribución en la cuenca.

En las imágenes de muy alta resolución disponibles en Google Earth™ (Figura IV.1.3.1.-27) es posible identificar las zonas halófilas a que se refiere UNAM (2000). Se distinguen AGT, AGR, tular, suelo desnudo; la clasificación indicó además palmar y PZC.

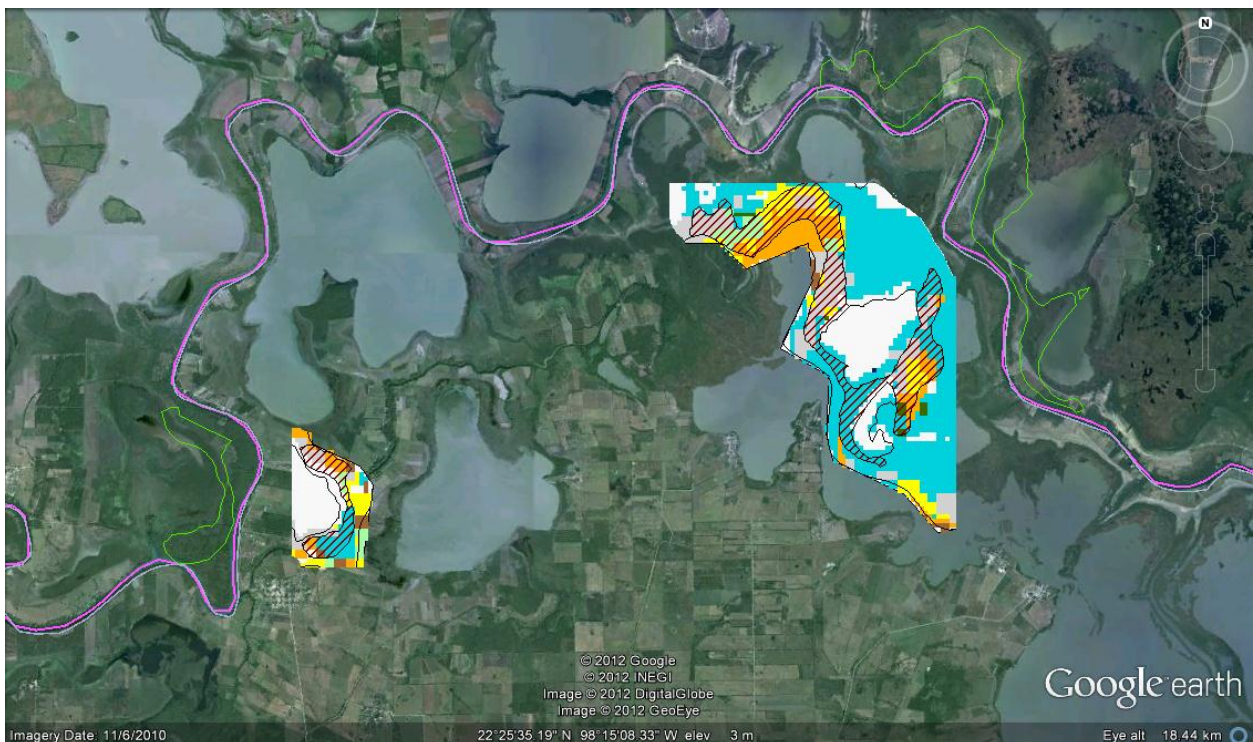


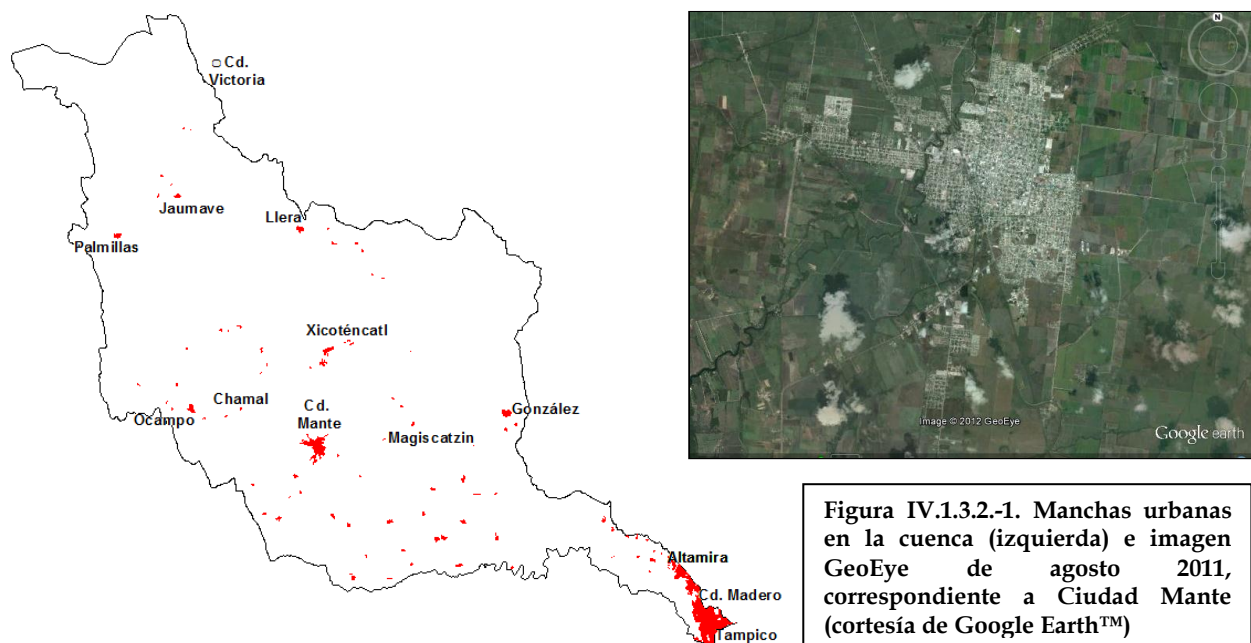
Figura IV.1.3.1.-27. Imagen de muy alta resolución, mostrando sitios clasificados por UNAM (2000) como vegetación halófila (delineado verde). Los insertos muestran los resultados de la clasificación en esos polígonos: azul, tular; amarillo, AGTA; naranja, AGR; marrón, palmar; verde, PZC; gris oscuro: suelo desnudo; gris claro: otros.

Casi toda esta comunidad está conformada por hierbas y pastos, por lo que no supera los tres metros de altura. En la cuenca está asociada a las márgenes del río Tamesí, y presenta especies como la verdolaga de salitral, la saladilla y el zacahuiste. Su ubicación junto a zonas inundadas le protege hasta cierto punto de incendios; esto, aunado a que las características salinas del suelo lo hacen poco útil para actividades humanas, tiene como consecuencia que no se registre vegetación secundaria de esta comunidad. No obstante, se reportan especies invasoras con alta tolerancia a la salinidad del suelo, como es el caso del girasol (*Heliantus annuus*, Asteraceae) y el zacate estrella.

IV.1.3.2. Usos del suelo y otras coberturas.

En la descripción de estas coberturas no se sigue un orden de importancia por su extensión, sino por la lógica que se siguió para cartografiarlas.

La cobertura con menores probabilidades de confusión, y cuyos límites están bien definidos es la **Mancha Urbana**, clasificada por [INEGI \(2005\)](#) como Zona Urbana y como Asentamiento Humano; la diferencia entre ellos es que el segundo es la actualización de la primera, a través de los análisis de cambio en el uso del suelo. Para este estudio se contemplaron ambas como mancha urbana, con una superficie de 20,606 hectáreas dentro de los límites de cuenca (Figura IV.1.3.2.-1); esto es un 21.3% más que las del [UNAM \(2000\)](#), debido en gran parte por el crecimiento en la zona conurbada de Tampico, Mante y Xicoténcatl, así como la inclusión de algunas localidades dentro de las que destaca la conurbación del Ejido Primero de Mayo y la Colonia Independencia, al sur de Xicoténcatl.



Las **Superficies quemadas**, tanto en vegetación natural como en zonas agrícolas (que no contempla SEMARNAT en sus monitoreos) ocuparon un total de 31,932 hectáreas en octubre de 2011. El último reporte disponible para Tamaulipas es de junio de 2011, (Cuadro IV.1.3.2.-1), con 4,658 hectáreas sólo para los incendios “forestales” de la cuenca ([OEDRIUS, 2011](#)). Posteriormente, y por efectos de la sequía, se presentaron otros incendios de mayores dimensiones en la región, de los cuáles algunos afectaron el área de estudio. Además, grandes superficies de terrenos agrícolas fueron afectadas por incendios, como pudo corroborarse durante la visita a campo en el mes de mayo, cuando aún la sequía no alcanzaba su máximo.

Cuadro IV.1.3.2.-1. Incendios registrados en zonas forestales de la cuenca (enero-junio de 2011) por OEDRIUS-SEMARNAT al 3 de junio de 2011.

Municipio	Localidad	CAUSA	Superficie afectada (Has)				Fechas	
			PZ	RE	MT	TOT	Inicio	Fin
Tula	Ej. Juan Sarabia P.P. Agua Zarca	1	10	0	10	20	2/23/2011	2/26/2011
Gomez Farías	Ej. Altacima	1	1	0	0	0	2/25/2011	2/26/2011
Llera	Ej. El Ojital	1	12	0	0	12	3/13/2011	3/14/2011
Jaumave	P.P. Innominado (Pedraza Herrera Antonio)	1	1	0	79	80	4/4/2011	4/7/2011
Tula	Ej. Mesa De La Libertad	1	30	0	20	50	4/26/2011	4/27/2011
Ocampo	Ej. Protacio F. Guerra	1	43	0	75	118	4/27/2011	4/30/2011
Ocampo	Ej. Coahuila - Ej. Magdaleno Aguilar	1	25	0	25	50	4/27/2011	4/29/2011
Gomez Farías	Ej. Ojo De Agua - Ej. El Nacimiento	1	18	0	65	83	4/27/2011	4/29/2011
Ocampo	Ej. Ricardo Flores Magón	1	0	0	90	90	4/29/2011	5/1/2011
Casas	Ej. Eduardo Benavides P.P. Santa María del Nogalar	1	670	10	70	750	5/3/2011	5/9/2011
Ocampo	Col. Agrícola Militar Santa María de Guadalupe	1	100	0	15	115	5/11/2011	ACTIVO*
Ocampo	Ej. Lorenzo Vargas y Coahuila	1	200	0	150	350	4/7/2011	4/9/2011
Gomez Farías	N.C.P.A. Benito Juárez	6	2	0	1	3	1/1/2011	1/3/2011
Jaumave	Ej. La Asunción	6	3	0	0	3	1/14/2011	2/15/2011
Llera	Ej. Felipe Ángeles P.P. Innominado (Rdz. Jergez)	6	13	0	2	15	3/7/2011	3/10/2011
Palmillas	Ej. San Vicente	6	16	0	4	20	3/13/2011	3/15/2011
Ocampo	Ej. Escondida y Atravesaño	6	20	0	10	30	3/25/2011	3/26/2011
Llera	Ej. San Ramon	6	6	0	14	20	4/27/2011	5/1/2011
Palmillas Bustamante	Ej. San Francisco	12	0	0	11	11	4/8/2011	4/11/2011
Jaumave	P.P. Innominado	12	250	0	1,110	1,360	5/5/2011	ACTIVO*
Palmillas	P.P. Innominado	12	20	0	58	78	5/5/2011	5/14/2011
Jaumave	Ej. La Unión	12	250	0	955	1205	5/9/2011	ACTIVO*
Ocampo	P.P. La Mesa Fría, cerca Ej. La Escondida y Atravesaño	12	20	0	85	105	4/4/2011	4/9/2011
Jaumave	Magdaleno Aguilar	12	30	0	60	90	4/19/2011	4/22/2011
	TOTALES		1,740	10	2909	4,658		

Fuente: SEMARNAT citado por [OEIDRUS \(2011\)](#). Notas: *Activo al 3 de junio de 2011; PZ= pastizal; RE= renuevo; MT= Arbusto y matorral; Causas: 1. Actividades agropecuarias, 6. Fogatas de paseantes, 12. Descargas eléctricas.

El repote de **SEMARNAT** (citado por [OEIDRUS, 2011](#)) señala que de las superficies consumidas en terrenos no agrícolas ni urbanos, un 37% fueron de pastizal y 63% arbusto y matorral, aunque también reportan 10 hectáreas de sitios con renuevo, sin que se informe de masas de árboles adultos siniestradas. La Figura IV.1.3.2.-2 muestra, además de la distribución de zonas quemadas en la cuenca, la imagen de un incendio acontecido en el mes de octubre en Miquihuana, que afectó alrededor de 6,000 hectáreas (577 en la cuenca), principalmente de árboles adultos de pino y encino; y por otra parte, muestra un predio con *Agave tequilana* con evidencias de incendio; predios como éste último no son inventariados por **SEMARNAT**, y tampoco es notorio en la imagen pues para el momento del análisis ya la zona había reverdecido.

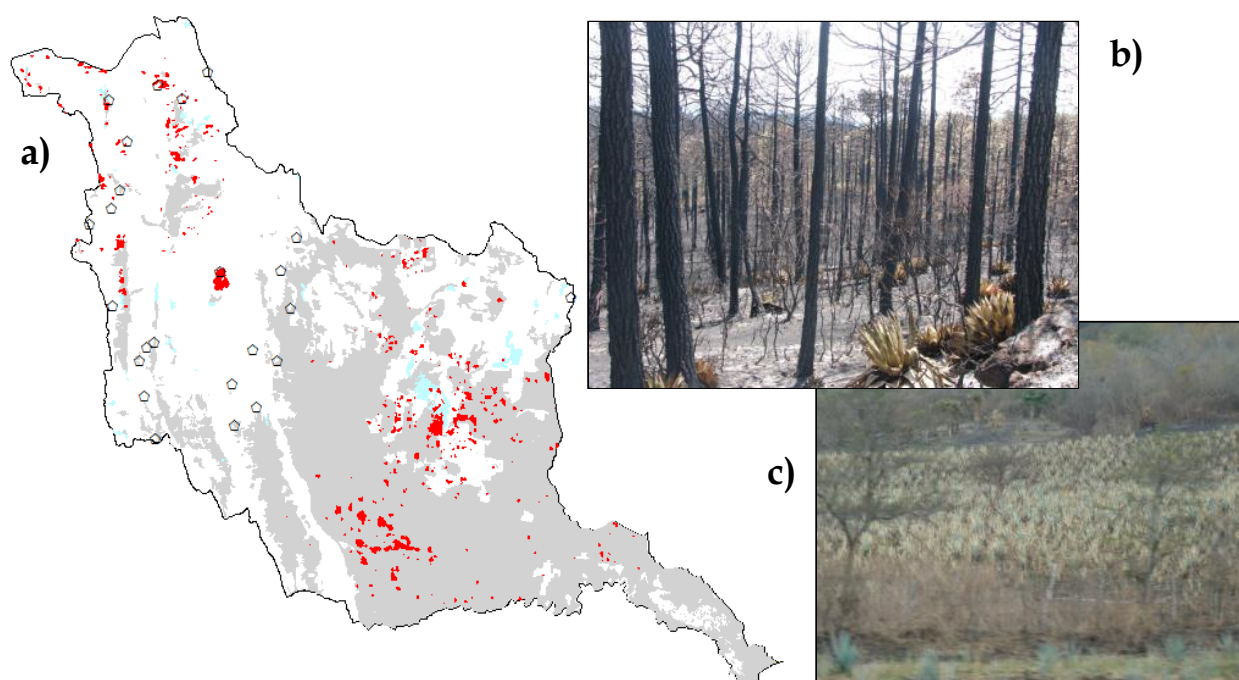


Figura IV.1.3.2-2. a) Superficies quemadas (en rojo), sitios de incendio (pentágonos) reportados por SEMARNAT (citado por OEDRIUS, 2011) hasta junio de 2011, y zonas no consideradas por ese organismo para sus informes (agropecuario, urbano y cuerpos de agua, en gris; pastizales inducidos en celeste). b) Bosque de pino quemado en Miquihuana en diciembre de 2011 (Foto cortesía de J. Treviño, 2011); c) Cultivo de agave siniestrado por incendio cerca de la localidad de San Juan, municipio de Llera (Mayo de 2011).

La SEMARNAT (citado por OEIDRUS, 2011) contempla trece causas probables de los incendios forestales con origen antropogénico, una indeterminada y una natural por descargas eléctricas (aunque no especifica que sean de origen atmosférico). En la cuenca se reportan sólo por actividades agropecuarias, por fogatas de paseantes y por descargas eléctricas; esta última es la que consumió más del 55% de la superficie incendiada en la cuenca hasta esos momentos, afectando 2,065 hectáreas de arbustos y matorrales y 500 de pastizales cerca del Ejido La Unión (Jaumave) y en un predio sin nombre de **El Cielo** (Jaumave).

Producto en parte por incendios, en parte por terrenos agropecuarios no cultivados o abandonados se ubicaron 38,358 hectáreas de **Suelo desnudo** que se encontraba en esta condición en octubre de 2011. Estas áreas aparentemente sin vegetación se asocian en su mayoría a zonas agrícolas en la cuenca media y en el valle de Jaumave (Figura IV.1.3.2.-3), por lo que es probable que se trate en su mayoría de predios agrícolas que no se cultivaron en el ciclo correspondiente debido a las sequías.

Aunque los informes agrícolas oficiales del año 2011 no se encuentran disponibles a la fecha, existen declaraciones en prensa de algunos funcionarios acerca del impacto de la sequía y heladas en las plantaciones agrícolas; aunque en ningún caso hacen referencia exacta a sitios, superficies y tipo de plantación afectada. González (2011, en prensa: Notimex en <http://sdpnnoticias.com>, del 29 de mayo) menciona que se dejaron de sembrar 48 mil hectáreas de temporal Altamira, Aldama, González, Mante y Xicoténcatl del ciclo primavera-verano. Por su parte, Reyes (2011, en prensa: <http://www.jornada.unam.mx/2011/11/18/sociedad/043n1soc>, del 18 de noviembre) explica que por las condiciones adversas se perdieron 70 mil hectáreas de soya en los municipios de Altamira, González y Mante.

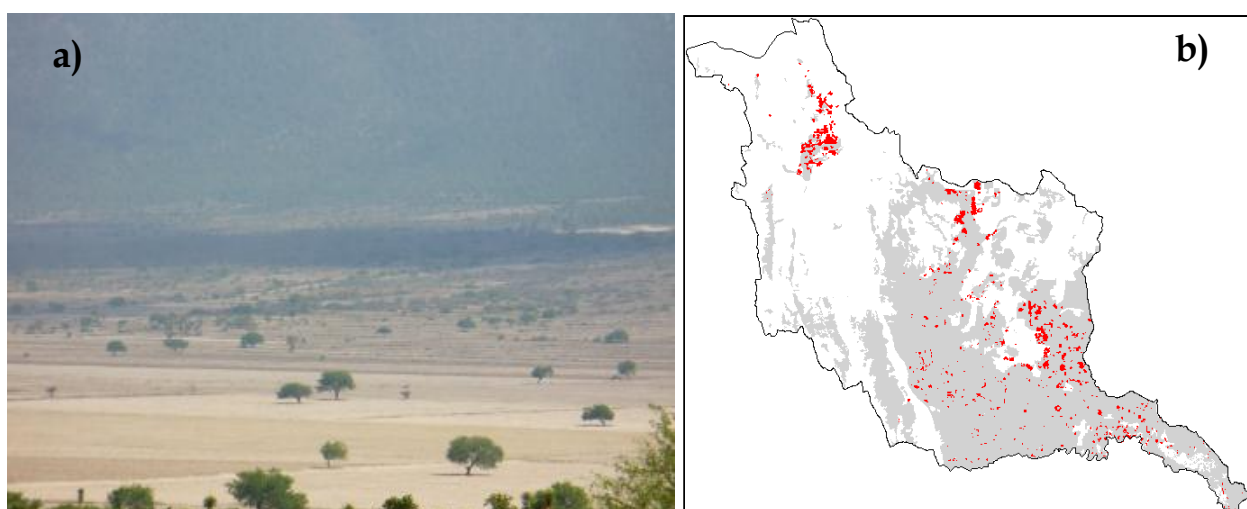


Figura IV.1.3.2.-3. a) Suelo desnudo, desprovisto de cultivos cerca de Magdalena Aguilar, municipio de Jamave. b) Superficies identificadas como suelo desnudo (en rojo), y sitios con manejo humano (gris).

Se identificaron 30,785 hectáreas de **Cuerpos de agua** con carácter permanente y semi permanente en la cuenca, y que incluyen lagunas naturales, presas y embalses (Figura IV.1.3.2.-4). Las primeras se ubican en la desembocadura de la cuenca, formando el sistema lagunario del Tamesí, y que en el lado tamaulipeco lo componen once lagunas (Cuadro IV.1.3.2.-2) permanentes, y que presentan profundidades de uno a dos metros. Respecto a las presas, se ubican dos de importancia nacional, con capacidades totales de almacenamiento mayores a cien millones de metros cúbicos.

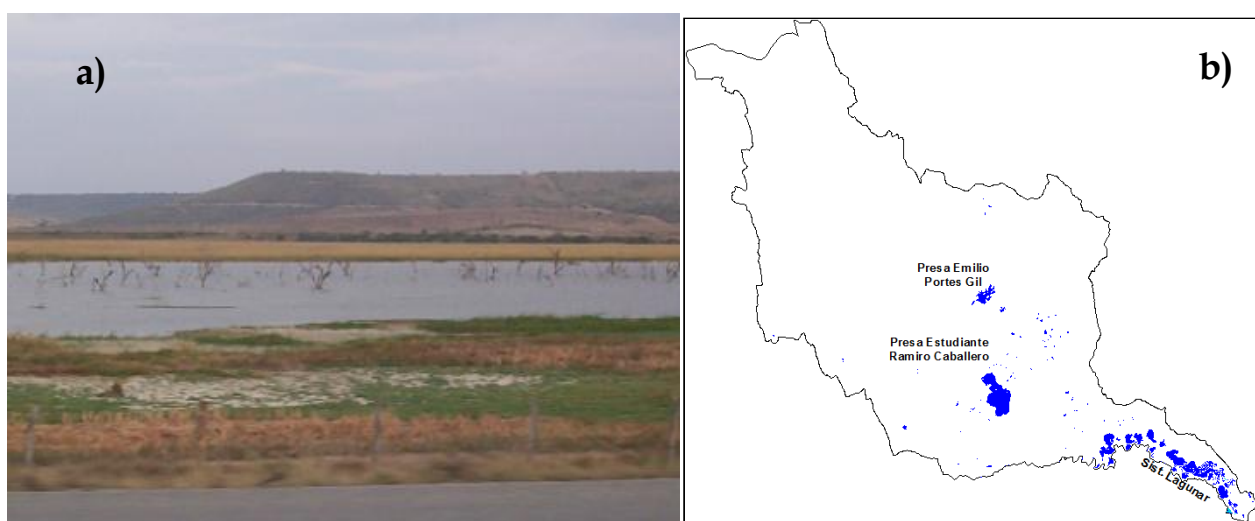


Figura IV.1.3.2.-4. a) Embalse intermitente sobre el Arroyo Caballerango, municipio de Llera b) Cuerpos de agua en la cuenca.

Cuadro IV.1.3.2.-2. Lagunas naturales en la cuenca y algunas características.

Nombre	Medidas promedio (Km)	capacidad m3	Uso
Salada	9x1.8	-	Agrícola
Champayán	38.4x5.6	329 875 000	Consumo humano
La Puerta		15 .00?	
La Vega Escondida	6x27	25 000 000	Agrícola
Tancol		4 .86?	
Del Carpintero	2x0.4	2 075 000	-
La Puente	3.4x1.8	-	Agrícola
La Josecito	5x2.4	-	Agrícola

Fuente: SEDUE (1984).

Cuadro IV.1.3.2.-3. Principales presas en la cuenca y algunas de sus características.

Nombre oficial y municipio	Nombre común	Capacidad al NAMO(hm ³)	Uso	Año de terminación	Volumen útil 2009 (hm ³)
Estudiante Ramiro Caballero Dorantes, Mante y González	Las Ánimas	5715	Irrigación	1976	508.27
Presidente Lic. Emilio Portes Gil, Xicoténcatl	San Lorenzo	231	Irrigación	1983	177.78
Venustiano Carranza , González*	-	30.66	-	-	20.00
Bernardo Gutiérrez de Lara, A. Morelos *	-	13.50	-	-	8.80

Fuente: CONAGUA (2011a); * fuente: UAT (2001)

La superficie total de cuerpos de agua es aproximadamente 2,200 hectáreas mayor que la reportada por UNAM (2000). Esta diferencia es debida principalmente a la inclusión de zonas inundables y de tulares no consideradas dentro de esta clase por ese organismo ni por INEGI (2005); no puede considerarse como un error, debido a que las zonas inundables y tulares pueden llenarse o vaciarse de agua por temporadas, por lo que cabe la posibilidad de que en el tiempo de la fotointerpretación algunos de ellos hayan sido clasificados como tular. Por ejemplo, en el caso específico de la porción inundable norte de la Presa E. Ramiro Caballero, UNAM (2000) la clasifica como pastizal cultivado, mientras que INEGI (2005) como zona agrícola-pecuaria.

En cuanto a los agroecosistemas (también llamados usos agropecuarios del terreno), se observó que al clasificar las imágenes, suelen confundirse entre diferentes regímenes agrícolas, así como con pastizales, suelo desnudo, selvas bajas o mantorrales; todo esto dependiendo del tiempo sin siembra y su ubicación en la cuenca. De estos tipos de cobertura, las que presentan mayor regularidad en su distribución y uso son la agricultura de riego y la de cultivos permanentes.

La **agricultura de temporal con cultivos permanentes y semipermanentes** es claramente diferenciable ya en las imágenes de alta resolución, debido a la textura regular del cultivo (Figura IV.1.3.2.-5), lo que facilita su digitalización para integrarla al uso del suelo.



Figura IV.1.3.2.-5. Cultivo de mango al sur de El Encino e imagen de alta resolución que muestra la parcela fotografiada y el sitio aproximado de la captura (Imagen Landsat? de 2011?, cortesía de Google Earth™).

INEGI (2005) considera que son cultivos bajo régimen de temporal porque su ciclo vegetativo depende de las precipitaciones pluviales; considerándolos semi permanentes cuando el ciclo es de uno a diez años y permanentes cuando es superior a ese periodo. En la cuenca este tipo de cultivos ocupa 8,793 hectáreas (Figura IV.1.3.2.-6), distribuidas principalmente en el municipio de Llera, Xicoténcatl y Gómez Farías, donde se cosechan cítricos, mango, nopal, papaya y agave bajo este régimen.

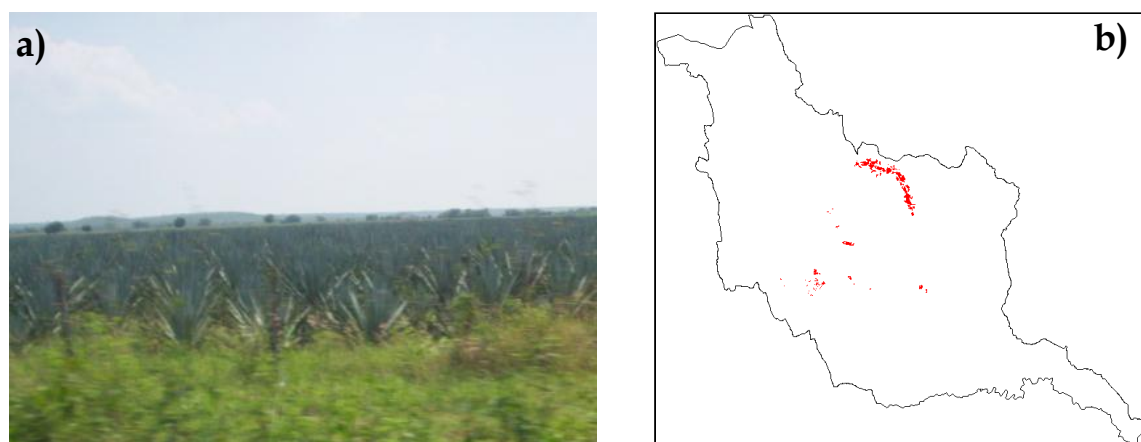


Figura IV.1.3.2.-6. (a) Cultivo de Agave azul en el municipio de Xicoténcatl (b) distribución en la cuenca de la agricultura de temporal con cultivos permanentes y semi permanentes.

Uno de los cultivos principales en la cuenca es el de la caña de azúcar, que es semi permanente, pero por su importancia se estudia dentro del régimen de riego, en otro apartado. Algunas de las principales especies cultivadas bajo este régimen en la cuenca se muestran en el Cuadro IV.1.3.2.-3.

Cuadro IV.1.3.2.-3. Ejemplo de especies cultivadas en régimen de temporal permanente y semi permanente en la zona de estudio.

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Anacardiaceae	Arbóreo	<i>Mangifera indica</i>	Mango	Fruto comestible
Rutaceae	Arbóreo	<i>Citrus sinensis</i>	Naranja	Fruto comestible
Cactaceae	Herbáceo	<i>Opuntia cochenillifera</i>	Nopal	Comestible (penca e inflorescencia)
Agavaceae	Herbáceo	<i>Agave tequilana</i>	Agave azul	Industria tequilera

La **agricultura de riego** es propia de terrenos con ciclo vegetativo que depende del agua con que se riegan. En este caso se incluye el riego eventual, con técnicas como bombeo, aspersión, goteo, por gravedad, etc. En la cuenca, la mayor parte de la superficie de este tipo de cultivo está dedicada a la caña de azúcar (que como se mencionó es de carácter semi permanente), aunque también se cultivan hortalizas y cereales, principalmente en el distrito de riego de Las Ánimas. En total, se encuentra en una superficie de 169,338 hectáreas. En la Figura IV.1.3.2.-7 se muestra la distribución de esta cobertura vegetal antrópica, y en el Cuadro IV.1.3.2.-4 características de algunas de las especies cultivadas.

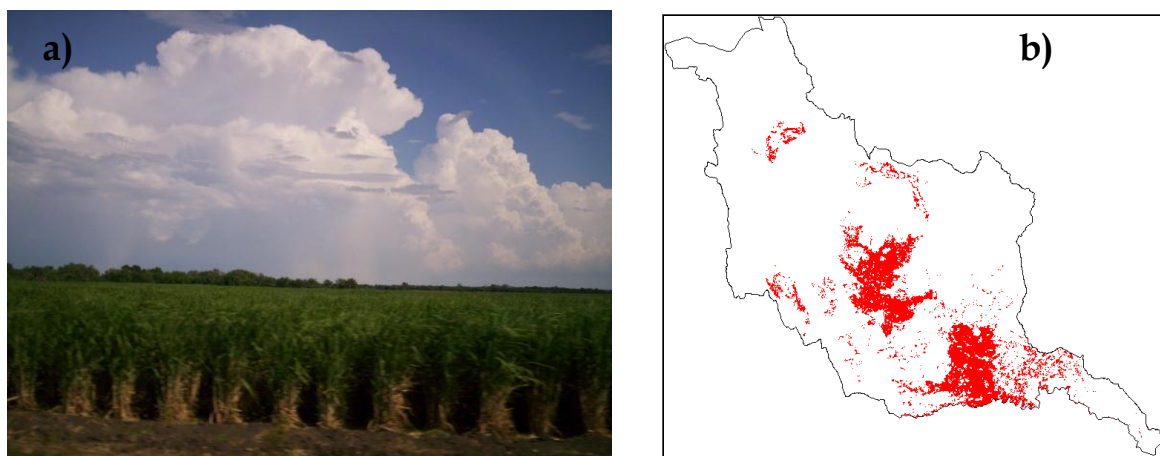


Figura IV.1.3.2.-7. (a) Cultivo de caña de Azúcar en el norte del municipio de Mante (b) distribución de la agricultura de riego en el área de estudio.

Cuadro IV.1.3.2.-4. Ejemplo de especies cultivadas en régimen de riego en la zona de estudio.

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Poaceae	Herbáceo	<i>Saccharum officinarum</i>	Caña de azúcar	Obtención de azúcar y alcohol
Poaceae	Herbáceo	<i>Oryza sativa</i>	Arroz	Fruto comestible
Alliaceae	Herbáceo	<i>Allium cepa</i>	Cebolla	Raíz comestible
Solanaceae	Herbáceo	<i>Capsicum annuum</i>	Chile verde, chile jalapeño	Fruto comestible
Solanaceae	Herbáceo	<i>Lycopersicum esculentum</i>	Tomate	Fruto comestible
Cucurbitaceae	Herbáceo	<i>Citrullus lanatus</i>	Sandía	Fruto comestible

Se considera como pastizal cuando la comunidad se forma principalmente por gramíneas y otra vegetación herbácea, por lo que no son mayores de 2 m, aunque en algunos sitios se permite que se desarrollen especies nativas arbustivas o arbóreas. Los **Pastizales cultivados** se introducen con la intención de alimentar el ganado, por lo que se realizan labores de cultivo y manejo para su establecimiento y conservación. Se distribuyen en la cuenca media (Figura IV.1.3.2.-8), ocupando alrededor de 54,500 hectáreas. En estos sitios, se presentan altos índices de agostadero. Algunos ejemplos de las especies cultivadas con este fin son las gramíneas conocidas como zacate Buffel (*Pennisetum ciliare*), Estrella (*Cynodon plectostachyus*) y Guinea (*Panicum maximum*).

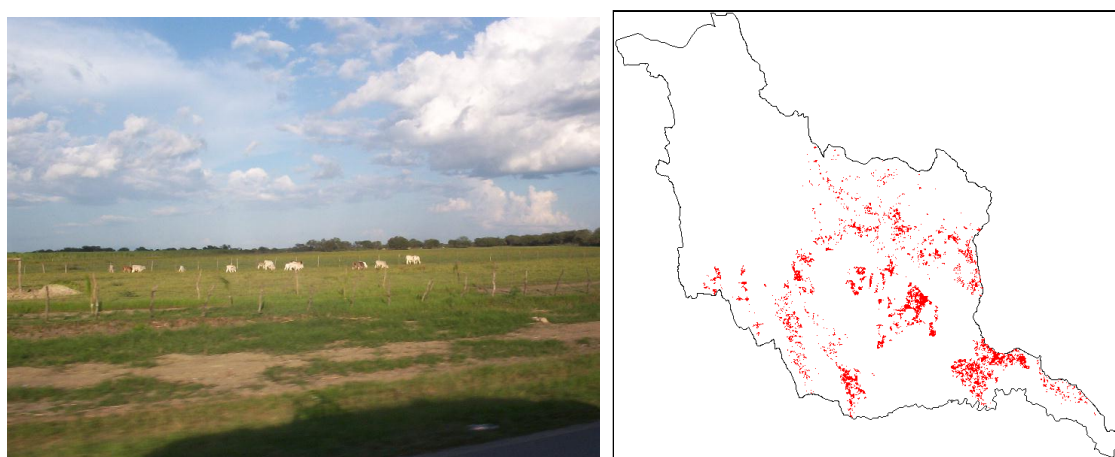


Figura IV.1.3.2.-8. (a) Pastizal cultivado en el municipio de González; (b) distribución del pastizal.

Agricultura de temporal con cultivos anuales. En esta clase se incluyen los terrenos cuyo ciclo vegetativo del cultivo depende de las precipitaciones, por lo que pueden dejar de sembrarse. INEGI (2005) considera que un sitio se encuentra dentro de este régimen si presenta actividad más de 80% del ciclo agrícola. Los pobladores suelen abrir parcelas para este tipo de cultivo en las áreas rurales, por lo que se distribuyen por toda la cuenca; aunque las zonas agrícolas propiamente dichas se ubican en principalmente en la parte sur de la región, especialmente en la llamada “zona temporalera” del municipio de Mante, el municipio de Altamira y el centro-sur de González (Figura IV.1.3.2.-9). En total, ocupan una superficie de casi 270 mil hectáreas. Los principales cultivos en temporal con ciclos anuales son de sorgo, soya, maíz, cártamo, algodón y frijol. Las características de estas especies se muestran en el Cuadro IV.1.3.2.-5.

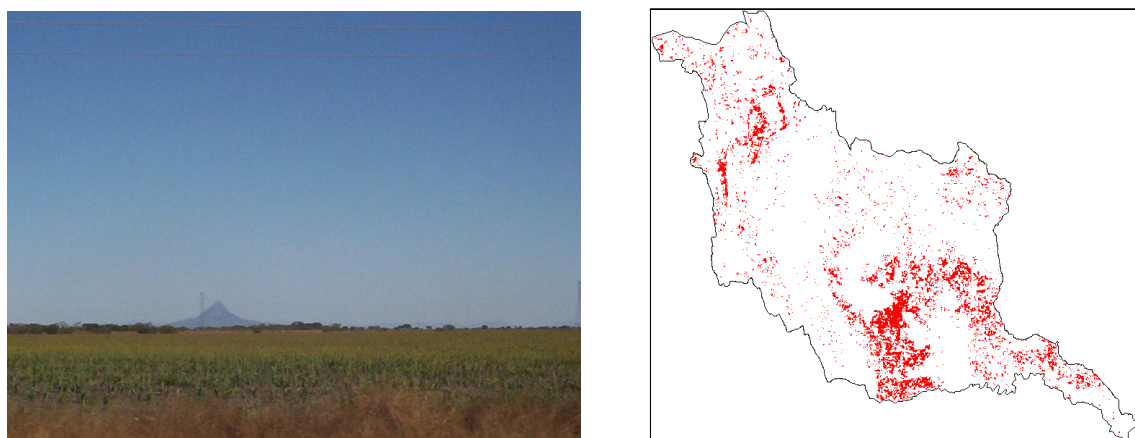


Figura IV.1.3.2.-9. (a) Cultivo de sorgo en la zona temporalera del municipio de Mante (b) distribución de la agricultura de temporal en el área de estudio.

Cuadro IV.1.3.2.-5. Ejemplo de especies cultivadas en régimen de temporal en la zona de estudio.

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Poaceae	Herbáceo	<i>Sorghum vulgare</i>	Sorgo	Forraje
Poaceae	Herbáceo	<i>Sea mayz</i>	Maíz	Fruto comestible
Asteraceae	Herbáceo	<i>Carthamus tinctorius</i>	Cártamo	Se obtiene aceite
Leguminosae	Herbáceo	<i>Glycine max</i>	Soya	Elaboración de aceite
Leguminosae	Herbáceo	<i>Arachis hypogaea</i>	Cacahuete	Raíz comestible

El **Pastizal inducido** es una comunidad de gramíneas que surge con la eliminación de la cobertura vegetal nativa, ya sea por desmontes, incendios o en áreas agropecuarias abandonadas. Estas últimas se incrementaron súbitamente en el área de estudio debido a los efectos ya comentados de los intemperismos severos y los incendios; estos terrenos abandonados y de pastizales fueron confundido en las imágenes con sitios agropecuarios, y al no contar con recursos ecogeográficos para discriminar las coberturas, se optó por dejar la clase como Agricultura de temporal con cultivos anuales/Pastizal inudcido (AGTA/PZI).

Es necesario señalar que en las entrevistas a productores locales, algunos expresaron que ha aumentado el abandono de tierras de cultivo por falta de apoyos de las autoridades gubernamentales, así como por las condiciones de inseguridad relacionadas con actividades ilegales (Lara, S., M. González, V. Requena, 2011, comunicación personal).

Aunque esto no se informa de manera oficial, en la prensa local se reporta este hecho, mencionando por ejemplo la quiebra y abandono de ranchos ganaderos en González y Altamira (dentro de la cuenca) tanto por falta de apoyos, por condiciones adversas del mercado internacional, así como por la inseguridad de la zona (García, 2011, en prensa: <http://conexiontotal.mx/2011/06/19/ranchos-y-ganado-tronados/>; Elizondo, 2011, en prensa: <http://conexiontotal.mx/2011/10/13/cierran-10-ranchos-por-inseguridad-y-crisis/>). Otros mencionan el abandono de ejidos, el remate de tierras y la migración de campesinos de municipios como González, Ocampo y Altamira (Báez, 2011, en prensa: <http://conexiontotal.mx/2011/11/16/rematan-sus-tierras-por-crisis-e-inseguridad/>; Espronceda, 2012, en prensa: <http://conexiontotal.mx/2012/03/03/abandonan-tierras-por-sequia-e-inseguridad/>; Reyes, 2012, en prensa: <http://tamaulipas.milenio.com/cdb/doc/noticias2011/ebf426e7a7edfe91ef6f5131585c85b0>).

La superficie registrada como Pastizal inducido es de 10,870 hectáreas; mientras que los terrenos con probable situación de abandono ocupan 136,653 hectáreas de las contabilizadas en Agricultura de Temporal con Cultivos Anuales; es decir, casi 51% de los terrenos agrícolas de la cuenca presentan algún nivel de abandono. Algunas especies que suelen progresar en estos terrenos se muestran en el Cuadro IV.1.3.2.-6, y su distribución en la Figura IV.1.3.2.-10.

Cuadro IV.1.3.2.-6. Ejemplo de especies presentes en los pastizales inducidos de la zona de estudio.

Familia	Forma	Nombre científico	Nombre común	Aspecto de interés
Poaceae	Herbáceo	<i>Aristida</i> sp.	Zacate	
Poaceae	Herbáceo	<i>Paspalum notatum</i>	Zacate burro	
Poaceae	Herbáceo	<i>Chenchrus</i> sp.	Cadillo	Se pega a la ropa
Poaceae	Herbáceo	<i>Sorghum halepense</i>	Zacate johnson	Competidor en cultivos
Poaceae	Herbáceo	<i>Rhynchelytrum repens</i>	Pasto orillero	Indicadora de disturbio
Boraginaceae	Arbóreo, arbustivo	<i>Cordia boissieri</i>	Anacahuita	Ornato, sombra
Leguminosae	Arbustivo	<i>Acacia farnesiana</i>	Huizache	Indicadora de disturbio
Leguminosae	Arbustivo	<i>Acacia cornigera</i>	Cuerno de toro	oportunista
Sterculiaceae	Arbóreo, arbustivo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guácima	Oportunista, indicadora de disturbio
Leguminosae	Arbóreo, arbustivo	<i>Leucaena leucocephala</i>	Guaje	Forraje, invasor, oportunista

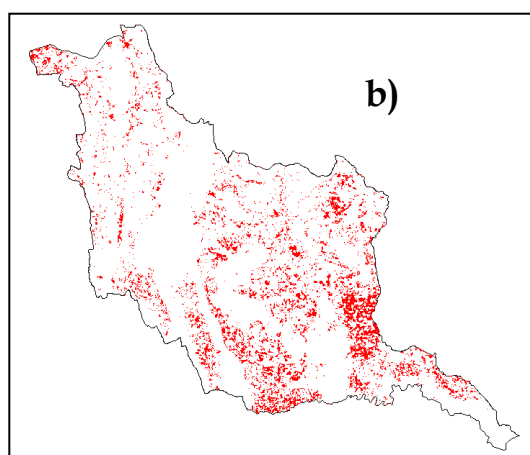


Figura IV.1.3.2.-10. (a) Pastizal inducido en un área agrícola abandonada del municipio de Mante; (b) distribución en la cuenca.

IV.2. Descripción y evaluación socioeconómica de los SSAA

A continuación se describen las aportaciones de los servicios ambientales y su distribución espacial en el área de estudio; para ser entendidos dentro de un contexto adecuado, es necesario señalar que, de acuerdo con [Tognetti, et al. \(2004\)](#), dada la alta complejidad de la cuenca como sistema natural, aunado al uso e impacto antropogénico, existe cierto grado inherente de incertidumbre en los modelos presentados. Por otra parte, es importante mencionar que existen otros que pueden ser evaluados en la el área de estudio, pero que no se contó con la suficiente información para ello. En los casos de otros SSAA que pueden evaluarse a través del *software* Invest, no se incluyeron en esta investigación debido a su presencia en áreas muy poco significativas (como el de producción de madera con manejo y el grupo de servicios prestados por ecosistemas marinos y costeros) o por su inexistencia en el área (reservorio para producción hidroeléctrica).

IV.2.1. La calidad del hábitat para la biodiversidad

La biodiversidad tiene valor, no sólo por el potencial conocido y desconocido de especies para proveer servicios, sino por su contribución para controlar la estabilidad y resiliencia de los ecosistemas en una forma aceptable e inaceptable, por ejemplo, como la “goma” que mantiene un ecosistema junto ([Costanza y Farber, 2002](#)). No obstante, [Nunes y Van den Bergh \(2001\)](#) señalan que muchos estudios de valuación se realizan confundiendo el concepto de biodiversidad con el de recursos biológicos, por lo que subestiman el valor de la primera, al no integrar su gama completa de beneficios. Las organizaciones interesadas en la conservación integral deben tener claramente definida de qué forma y en qué sitios coincide una cierta biodiversidad con otros SSAA y cómo afectan las acciones (o la carencia) de manejo a la calidad de sus servicios ([Tallis, et al., 2010](#)).

La persistencia de las especies y sus poblaciones depende de la capacidad de los ecosistemas para proporcionarles un hábitat adecuado para su desarrollo. La cuantificación de esta capacidad se le conoce como “calidad del hábitat” ([Hall et al., 1997](#) EN [Tallis, et al., 2010](#)), y puede ser interpretada en el mismo sentido que la “integridad del hábitat”. Además de depender de los recursos del mismo hábitat, generalmente es inversamente proporcional a la proximidad con los usos humanos del suelo y la intensidad de los mismos ([Nelleman, 2001](#); [McKinney, 2002](#); [Forman, et al. 2003](#) EN [Tallis, et al., 2010](#)); de esta forma, los ecosistemas con mayor calidad como hábitats se mantienen intactos relativamente, con rangos de variaciones históricas en cuanto a su infraestructura y funciones; pero esa calidad disminuye conforme se acercan a factores que pueden ser considerados como diversos grados de amenaza ([Tallis, et al., 2010](#)).

IV.2.1.1. Descripción biofísica del SSAA

De acuerdo a los factores que amenazan a los ecosistemas de la cuenca, fue posible determinar el nivel de integridad relativo de los hábitats que los conforman, cuyo mapa se observa en la Figura IV.2.1-1. El mapa expone, en porcentaje, la calidad del hábitat en el pixel con respecto a la distribución de dicha calidad en el resto del área de estudio.

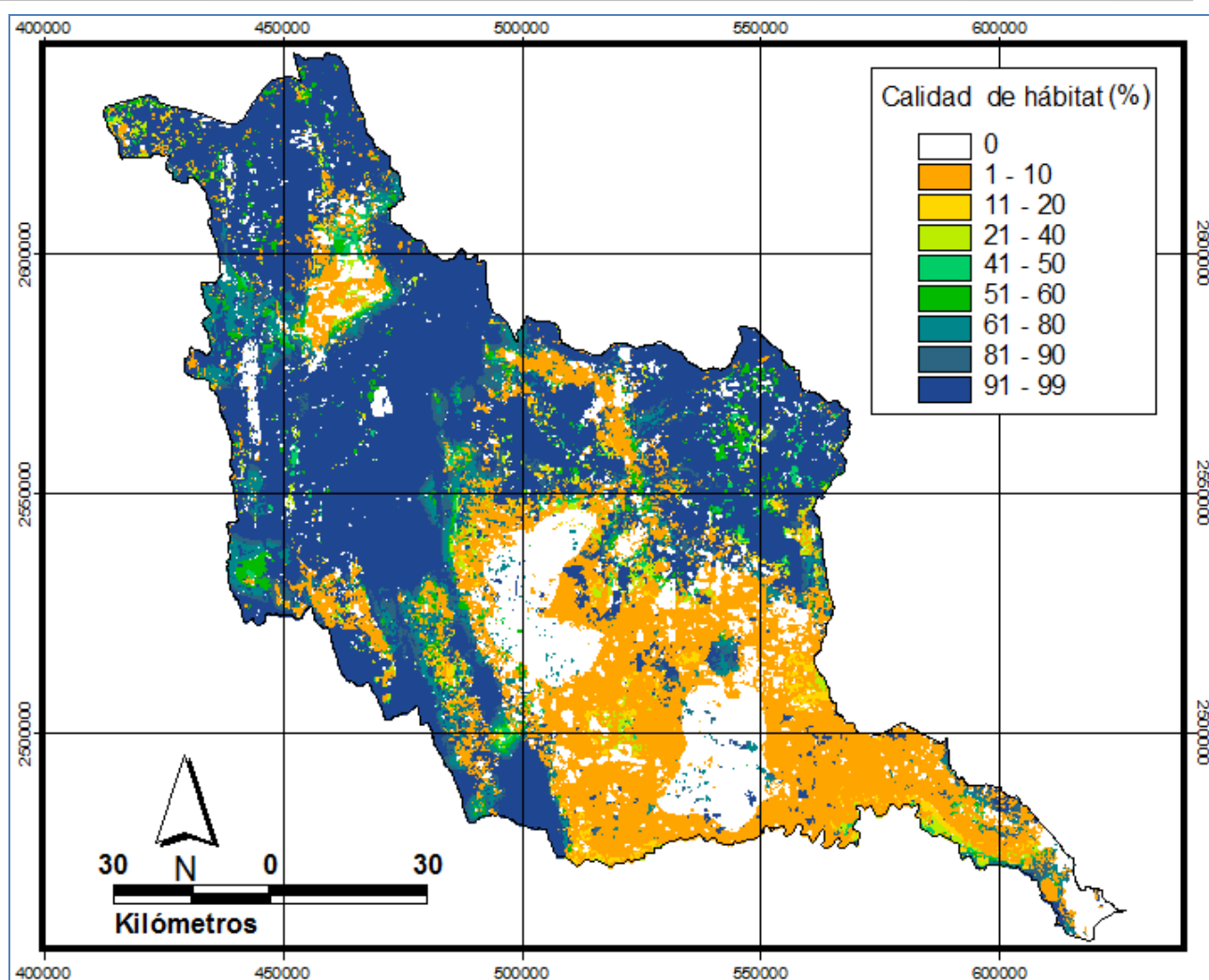


Figura IV.2.1-1. Calidad del hábitat para la biodiversidad de los ecosistemas en el área de estudio.

Es importante señalar que sólo el 0.72% del área de estudio (10,714 hectáreas) alcanza una calidad absoluta de 100%, ubicándose en las zonas más “aisladas”, lejos de las carreteras, las manchas urbanas y los sistemas agropecuarios, por lo que principalmente se localizan en los macizos montañosos (Figura IV.2.1-2). Es posible considerar a estos sitios como los más protegidos de la cuenca, debido a su inaccesibilidad y a su baja exposición a las amenazas antropogénicas. Estos sitios están amenazados básicamente por riesgo de incendios de origen natural, como todos los ecosistemas nativos de la cuenca (de acuerdo con [Gob.Edo., 2011](#)); y dentro de las amenazas antropogénicas son la extracción ilícita de biodiversidad y las actividades de campo, que pueden estar relacionadas, como se observa en la citada figura.

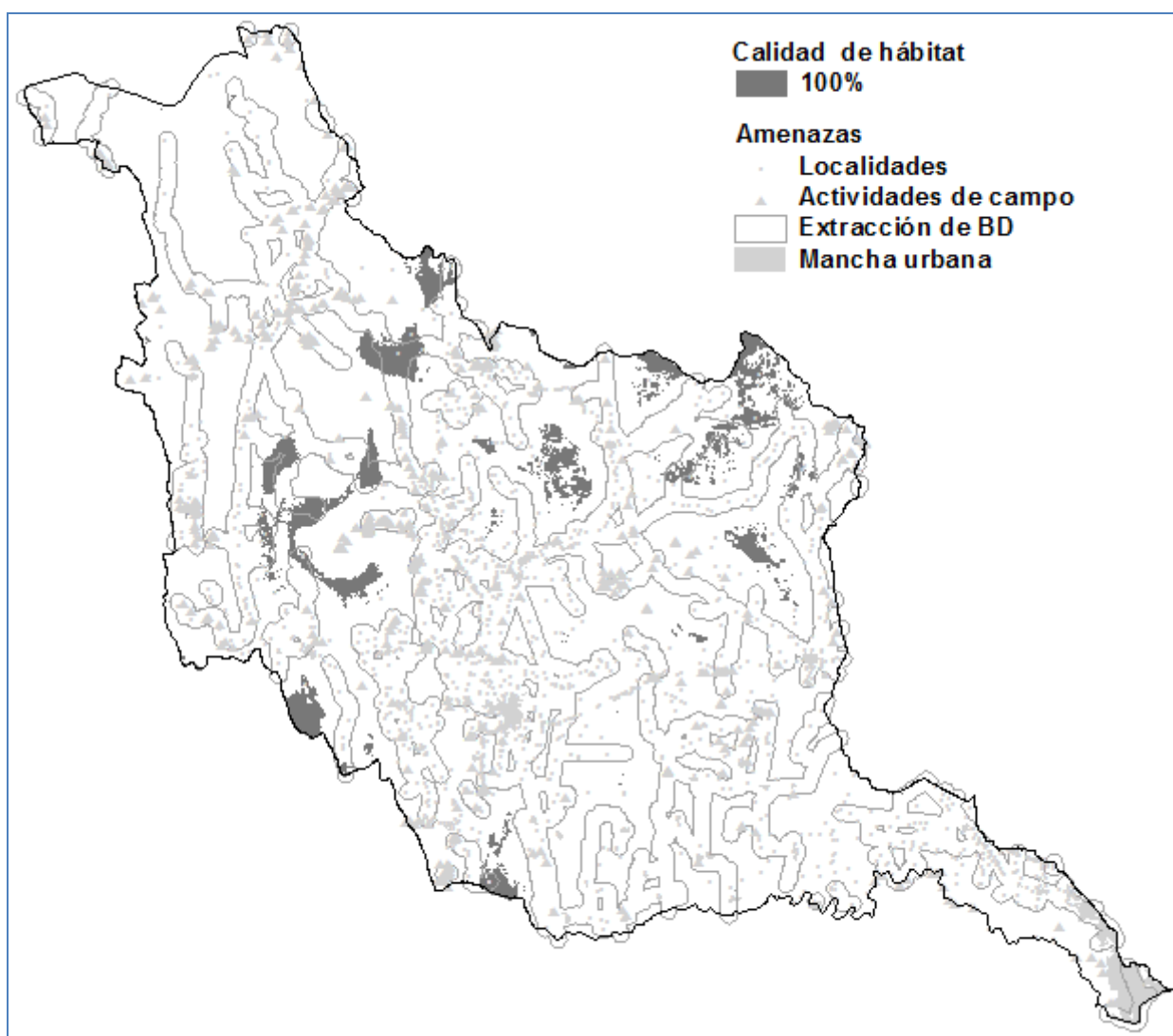


Figura IV.2.1-2. Sitios con una calidad de hábitat de 100% y su relación espacial con los factores de amenaza.

Debe hacerse notar que la principal amenaza a estos ecosistemas con alta integridad es la extracción ilícita de especies “carismáticas”, demandadas por el mercado negro, principalmente de nivel internacional, que se estima en miles de millones de USD anuales (Broad *et al.* 2002; Roe *et al.* 2002 EN Naranjo *et al.*, 2009). Naranjo *et al.* (2009) mencionan que los grupos de plantas que han estado amenazadas en México, y que actualmente se tiene información de su comercio ilegal son las cícadras (Zamiaceae), las orquídeas (Orchidaceae) y los cactus (familia Cactaceae); todos ellos presentes en el área de estudio y algunas de sus especies endémicas son valorados en “miles de dólares” por los coleccionistas, especialmente los cactus de las zonas semidesérticas (Tudón, 2008; en prensa: <http://www.eluniversal.com.mx/estados/67190.html>). La importancia de estos grupos radica en que contienen varias especies protegidas por la NOM-ECOL-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), por lo que el encontrarse en algún nivel de amenaza podría estar ocasionando o potenciando su extracción ilegal (Naranjo *et al.*, 2009).

En cuanto a la fauna, los grupos con mayor demanda de extracción que se encuentran en la citada norma son principalmente aves canoras (“cantarinas”) y de ornato, felinos y algunos reptiles (tortugas, lagartijas y serpientes) e incluso ciertas especies de tarántulas (Naranjo *et al.*, 2009).

Por otra parte, el modelo sugiere que una amenaza importante (como la travesía de una carretera) o dos de menor peso (como extracción de biodiversidad con actividades de campo), no disminuyen en términos relativos (de 0 a 3%) la integridad del hábitat; sin embargo, el efecto es más notorio al conjuntarse otros factores.

Con un alto grado de calidad (mayor de 90%), que disminuye paulatinamente creando un efecto de frontera en los sitios donde convergen varias amenazas, destacan las selvas, bosques y matorrales. Este efecto se hace evidente en las travesías de carreteras pavimentadas a través de las sierras, especialmente en donde la afectación de esta infraestructura hace sinergia con otras amenazas, como las actividades de campismo, agrícolas o mineras; resalta el paso de la Cueva de El Abra (al suroeste de Ciudad Mante), que es muy popular para los excursionistas, pues se ubica a menos de 120 metros de la carretera; pero además, se encuentra a 700 m de las extracciones mineras a cielo abierto, por lo cuál el efecto más evidente es que, excepto en época de lluvias, la selva (con riesgo “alto” de incendio, según [Gob.Edo., 2011](#)) se encuentra cubierta de polvo de cal como se observa en la Figura IV.2.1-3.



Figura IV.2.1-3. Minería a cielo abierto en el paso de El Abra y su efecto más visible sobre las SBC y SBCVs circundantes: a) extracción minera en mayo, con la selva áfila; b) 400 metros delante de la anterior, hacia Ciudad Mante, se observa la selva cubierta de cal en el mes de diciembre; al fondo de la carretera se encuentra la cueva de El Abra, 800 m posteriores al sitio de la primera fotografía.

De la superficie con alta calidad de hábitat (que alcanza 80% o más) en la Cuenca, sólo el 9.2% se encuentra bajo protección legal: 0.01% de manglar (protegido mediante la NOM-022-SEMARNAT-2003), mientras que el resto corresponde a los ecosistemas ubicados en la única ANP decretada actualmente: **El Cielo**. Sin embargo, como se muestra en el Cuadro IV.2.1-1, los ecosistemas de dicha reserva no alcanzan a estar protegidos en más de 37% de su cobertura total en la Cuenca, con excepción de BMM (pues el 80.1% se encuentra dentro de la misma); esto es importante si se considera que las zonas núcleo de la reserva se decretaron ([POT-tam, 1985](#)) para proteger el BMM, BPE y SBC. Por ello es evidente la necesidad de tomar acciones que eviten la degradación de estos ecosistemas fuera de ella.

A este respecto, es importante hacer notar que los hábitats con valores altos e intermedios en su calidad, coinciden con la distribución de las áreas propuestas para protección integral por [Requena \(2008\)](#) para la Cuenca; en esa clasificación se incluyen las zonas con altos valores ambientales, y con una singularidad tal que son de alta fragilidad. Por esos motivos, la [SEMARNAP \(2000\)](#) recomienda como medidas de manejo el mantenimiento de sus procesos y elementos naturales, de preferencia bajo la

figura de ANP; además, propone la gestión y fomento de PSA, principalmente captura de carbono, recarga de acuíferos y mantenimiento de biodiversidad. En su propuesta de ordenación de los recursos naturales, Requena (2008) expone que dichas superficies sean manejadas como zonas núcleo y de amortiguamiento.

Cuadro IV.2.1-1. Superficie (hectáreas) de los hábitats con calidades mayores al 80% dentro de la ANP “El Cielo” y su porcentaje relativo al área de estudio.

LULC	Ha. en ANP con Calidad > 80%	% en Cuenca	LULC	Ha. en ANP con Calidad > 80%	% en Cuenca
BMM	23,115	80.10	MSM	14,686	18.50
BE	31,100	37.47	BP	2,576	8.53
SAMS	11,199	34.86	SBC	8,316	7.18
BPE	19,147	26.63	MZQ1	413	5.36
BEBPEvs	8,654	26.50	MDR	2,079	3.78
SMSC	15,508	19.49	SBCvs	17	0.02

Valores intermedios de calidad (60-80%) son otorgados a los primeros frentes del efecto de frontera desde los hábitats nativos hacia las amenazas, así como a los relictos de selvas bajas distribuidos entre las zonas agropecuarias de la cuenca media. Es de destacar que, aún con su insularidad, el 29% de las selvas del simbólico Cerro del Bernal alcanzan valores de 90 a 99%; pero la mayoría (67%) se encuentra en los valores intermedios de 60 a 89% de integridad.

Por otro lado, los últimos frentes del efecto frontera, las zonas que circundan los campos agropecuarios y manchas urbanas, así como el resto de los relictos de vegetación nativa, obtuvieron en general valores bajos de entre 11 a 50 % de calidad. En este rango destaca la distribución de la calidad en la vegetación de tulares y la de alrededor del sistema lagunario del Tamesí (Figura IV.2.1-4), que es afectada por las ciudades vecinas y la infraestructura de comunicación terrestre de esta parte de la cuenca baja.



Figura IV.2.1-4. Laguna y áreas de tular con vegetación secundaria a orillas del camino, en el municipio de Altamira (Foto cortesía de K. Lara, 2004).

En el rango más bajo se encuentra la mayoría de las coberturas antropogénicas, con una integridad menor que 10%, pero diferente de cero. En estos niveles se encuentran la mayoría de las zonas agropecuarias (con excepción de los sistemas de riego), ya que tienen cierta aptitud como ecosistema, pues no conllevan el mismo manejo que las áreas de riego, lo que permite cierto nivel de soporte a la biodiversidad, especialmente en las zonas con cultivos permanentes, o aquellas que entran en fase de abandono. También en esta categoría se encuentran los cuerpos de agua, que presentan los valores más bajos, incluso de menos de 0.1% en la puntuación; este es el caso de la presa E. Portes Gil, donde la aptitud de ecosistema de 70% disminuye su calidad por el efecto sinérgico de la vecindad de los sistemas carreteros, la agricultura de riego, las actividades de campo y las rutas de extracción ilícita de biodiversidad.

Finalmente, las áreas urbanas no se contabilizan como hábitat, quedando con una calidad de hábitat para la biodiversidad de cero, afectando a los hábitats circundantes, y al mismo tiempo obteniendo los rangos más altos en el mapa de degradación (Figura IV.2.1-5). Por su parte, las áreas quemadas no se tomaron como los sitios de amenazas de incendio, debido a su temporalidad, pues su distribución corresponde a octubre de 2011; por eso, su presencia no afecta a los hábitats circundantes. Sin embargo, al igual que las manchas urbanas, no tiene puntuación como hábitat, alcanzando los mayores rangos en el mapa de degradación.



Figura IV.2.1-5. Vegetación en varios niveles de sucesión tras incendios con varios años de diferencia (Treviño, J., 2006; comunicación personal), en zonas de bosques mixtos de pino y encino del municipio de Miquihuana.

Costanza y Farber (2002) señalan que la evaluación de SSAA debe incluir, además de su magnitud y distribución, una estimación de fragilidad del ecosistema que responda a las cuestiones de “¿qué tan cerca está el ecosistema de alguna alteración que podría cambiar sustancialmente el flujo de servicios? ¿son ‘críticos’ estos flujos de servicios?”. La segunda cuestión no cabe en los alcances de este trabajo, pero para responder a la primera de ellas, se construyó el mapa de degradación del hábitat (Figura IV.2.1-6), donde es posible notar con mayor claridad el efecto sinérgico de la conjunción de amenazas sobre los hábitats con menor aptitud. Se observa cómo la distribución de las zonas degradadas se relaciona principalmente con los trazos carreteros, aumentando su intensidad con la adición de cada factor amenazante. Por ello resaltan las zonas urbanas y sus inmediaciones, destacando por su superficie la zona de Ciudad Mante y Xicoténcatl, donde concurren las áreas de riego agrícola con manchas urbanas, carreteras, así como el Distrito de Riego de Mante y González.

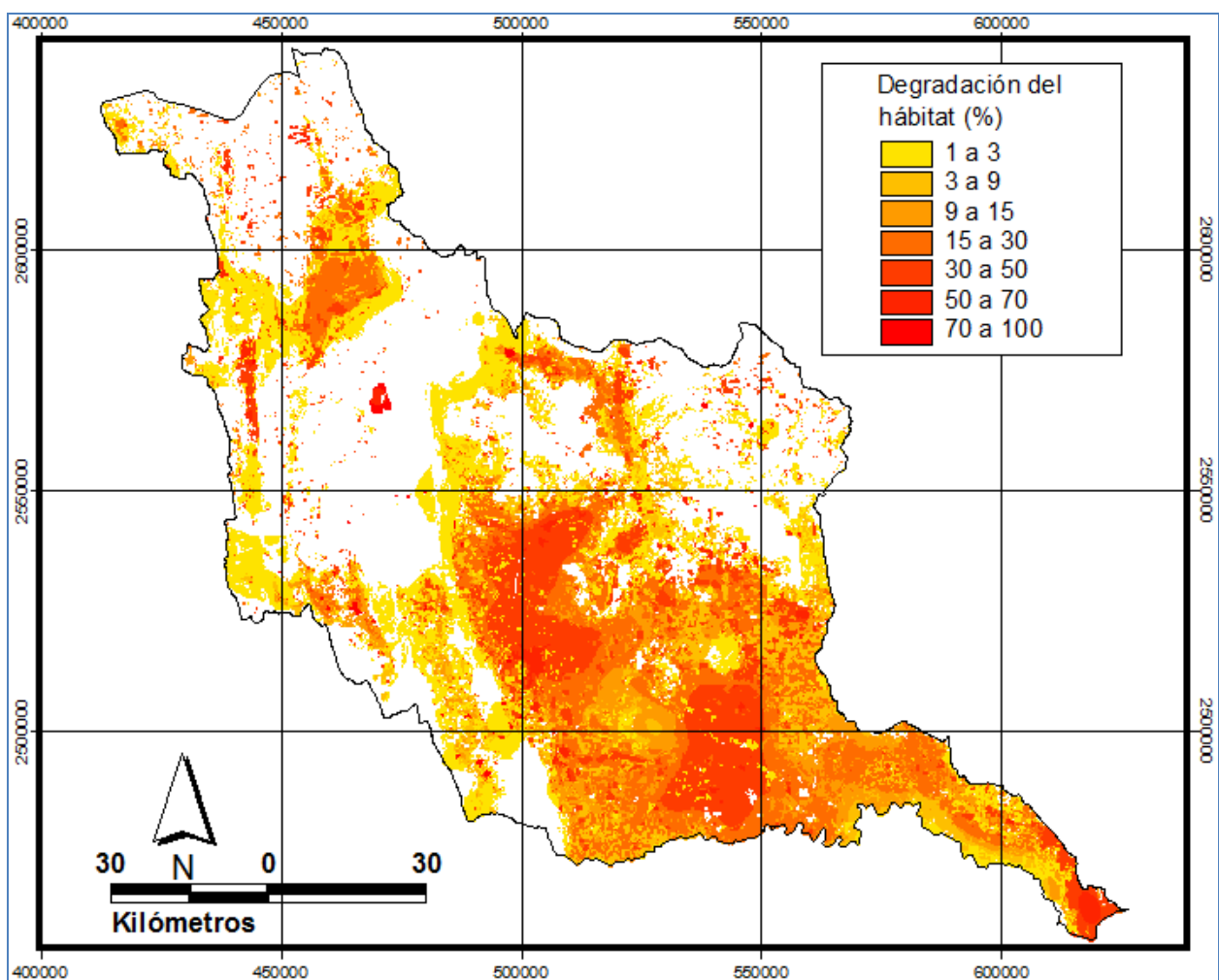


Figura IV.2.1-6. Distribución espacial de los niveles de degradación en los hábitats de la cuenca.

El Cuadro IV.2.1-2 muestra niveles de degradación baja, media y alta para cada LULC. Se observa que los que cuentan con mayor porción de su superficie (más del 60%) con 0% de degradación, tienen además casi toda su cobertura con niveles dentro del rango de 1 a 20%. Los mejor conservados (grado “muy alto, con más del 80% de su superficie con 0% de degradación) se ubican en las zonas montañosas de la cuenca. Es de resaltar que la cobertura de bosques mixtos de pino y encino en sucesión se encuentra en este nivel. El presentar vegetación secundaria parece contradictorio con su grado de

conservación, pero es necesario señalar que la calidad evaluada depende de su exposición a las amenazas antropogénicas; de manera que, al tratarse de ecosistemas ubicados a gran altitud, son de poca accesibilidad relativa, lejanos a amenazas humanas. Este tipo de bosques entran en sucesión más bien debido a factores naturales como incendios antiguos o plagas.

Cuadro IV.2.1-2. Porcentajes de superficie con algún nivel de degradación (en rangos de %) para cada LULC y su grado de conservación. Los rangos medios se especifican cuando la mayor parte de la superficie se encuentra dentro de ellos; los rangos altos indican el mayor % de degradación alcanzado en ese LULC (excepto en RIPA, SAMS y MAN, donde la degradación más alta no supera 65).

LULC	Porcentaje de superficie del LULC por rangos (%) de degradación						Grado de conservación
	% Rango 0	% Rango 1-20	% en rangos medios	Rangos medios	% en rangos altos	Rangos altos	
BMM	93.70	7.34			0.034	87-91	Muy alto
BPE	89.47	9.47			0.01	86-87	Muy alto
SBC	84.30	14.81			0.01	80-81	Muy alto
BEBPEvs	84.05	10.27			0.13	70-74	Muy alto
MDR	83.83	14.89			0.04	61-69	Muy alto
BE	79.30	20.20			0.02	86-99	Alto
SMSC	76.82	22.81			0.01	86-100	Alto
MSM	75.62	20.21			0.01	80	Alto
RIPA	75.31	5.55	16.05	40-47*			Alto
SAMS	73.50	25.25			0.01	86	Alto
BP	69.00	21.87			0.09	60-69	Alto
MAN	64.20	35.80 (1 a 17*)					Alto
MZQ1	63.25	34.22			0.05	80	Alto
PALM	46.14	52.35	0.6	35-45*			Medio
SBCvs	38.96	57.66			0.02	80-88	Medio
PZI	27.83	67.54	0.2	46-65*			Medio
SBEhzch	20.37	77.67			0.03	70-85	Medio
MZQvs	16.29	78.46			0.02	81-86	Medio
BT	10.84	89.04	0.08	35-55*			Medio
AGTApzi	10.50	82.20			0.02	80-92	Medio
TUL	6.34	89.66			3	77-79	Medio
PZC	4.64	87.22			0.01	80-88	Medio
AGTA	4.46	33.63	66.65	21-40	0.02	81-88	Bajo
QUE	4.07	7.77	39.3	21-40	0.64	80-85	Bajo
INU	3.00	82.80	1.1	41-43*			Medio
DESN	1.18	19.64	76.87	21-40	0.03	71-80	Bajo
URBA	1.15	3.64	44.1	41-60	5.35	80-100	Bajo
AGTP	0.91	10.40	87.7	21-40	0.03	82-85	Bajo
AGR	0.68	27.73	52.86	21-40	0.02	81-87	Bajo
AGUA	0.68	77.50	17.20	21-40	0.56	71-80	Medio

NOTA: *= niveles de degradación más altos alcanzados por el LULC.

Al igual que los más conservados, los del nivel “alto”, también se ubican en zonas montañosas, con excepción de la vegetación riparia y el manglar; cabe destacar que este último LULC (Figura IV.2.1-7), además de ser el menos extenso en la cuenca, colinda con la ciudad de Tampico, pero por su ubicación únicamente se enfrenta a la mancha

urbana como factor de amenaza. No obstante, es el único LULC del área de estudio con decreto de preservación a través de la NOM-022-SEMARNAT-2003 ([SEMARNAT, 2003](#)), que especifica en su apartado 4.0 literalmente que “El manglar deberá preservarse como comunidad vegetal”, por lo que en una estrategia de manejo debería considerarse dentro del rango más alto de conservación, considerando la superficie menos conservada (cuyo máximo nivel de degradación es bajo, de 17%) como objetivo de restauración.



Figura IV.2.1-7. Manglar en los límites de Tampico y el estado de Veracruz (Foto cortesía de K. Lara, 2004)

Con un grado “medio” de conservación, se observan los LULC con menos de la mitad de su superficie con 0% de degradación, pero que su mayor parte se encuentra en el rango de 1 a 20%. En este caso se incluyen comunidades vegetales en sucesión, pastizales (cultivados e inducidos, Figura IV.2.1-8) y coberturas primarias expuestas a tres o más amenazas (cuyo rango máximo, con excepción del TUL, no supera 60% de degradación); todos ellos, excepto el BT, están asociados a las zonas planas de la cuenca, en las inmediaciones de zonas agropecuarias y urbanas. Los cuerpos de agua, al ubicarse entre zonas antropogénicas, presentan menos de 1% de su cobertura sin degradación, aunque la mayoría se ubica en el rango bajo de degradación (de 1 a 20%).

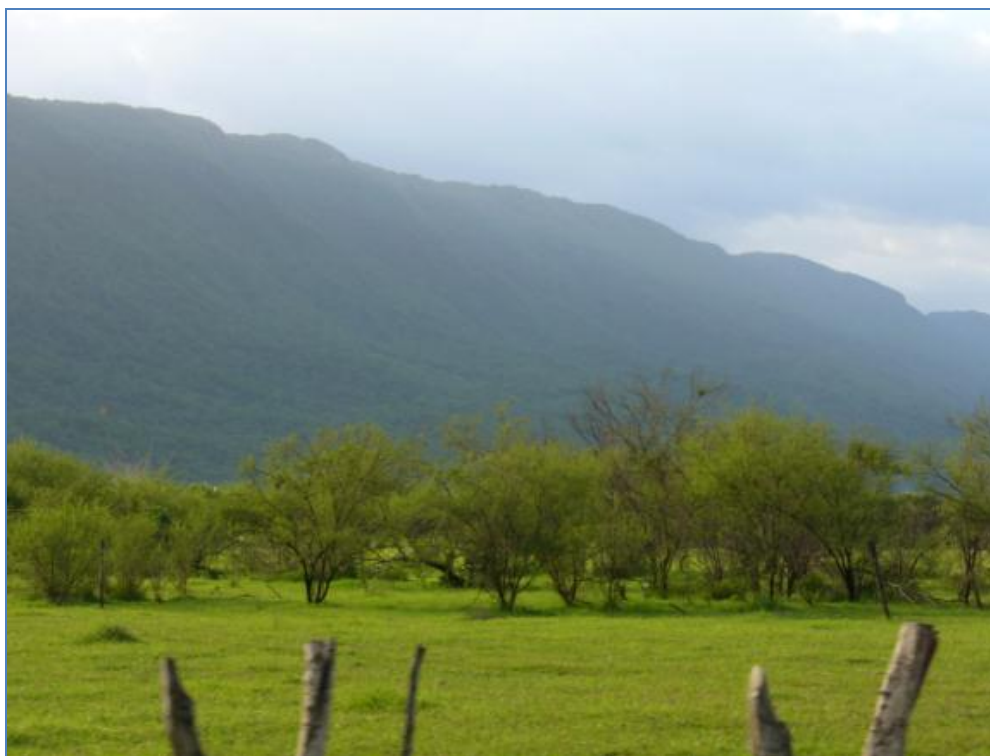


Figura IV.2.1-8. Zona ganadera (pastizal inducido con huizache) en el municipio de Gómez Farías.

El resto de los LULC son las áreas quemadas (Figura IV.2.1-9) y los de carácter antropogénico, todos con la mayor parte de su superficie en el rango medio de 21 a 40% de degradación; esto con excepción de las zonas urbanas, cuya superficie mayoritariamente se encuentra en el rango de 41 a 60 de degradación, y destaca por ser la que más territorio se clasifica con rangos superiores a 80% (con un 5.35% de la superficie).



Figura IV.2.1-9. Zona quemada tres meses después del incendio de mayo de 2006 al sur de La Marcela, municipio de Miquihuana (3,200 msnm).

IV.2.1.2. Valuación socioeconómica del SSAA

No es suficiente con exponer a tomadores de decisiones el valor ecológico de la biodiversidad, ya que los elementos de este valor son independientes de las preferencias humanas (Straton, 2006, EN [Martín-López et al., 2009](#)). Este valor es determinado esencialmente por su diversidad funcional, dada por la resiliencia y por la integridad de los ecosistemas, que es el primer producto del modelo biofísico de la calidad del hábitat ya analizado. Esos valores ecológicos pueden influir en los valores monetarios y socioeconómicos, mientras que el estado de los ecosistemas (como su integridad o calidad) puede determinar preferencias sociales ([Martín-López et al., 2009](#)).

Con la finalidad de que la sociedad cuente con un abastecimiento a largo plazo de los SSAA ofrecidos por la biodiversidad de su territorio, debe enfocar esfuerzos en el mantenimiento de la cantidad y calidad de sus atributos ([Martín-López et al., 2009](#)). La sociedad debe primero reconocer la importancia que tiene la conservación de ecosistemas, ya que se ha llegado a afirmar que la causa fundamental de la pérdida de biodiversidad es (antes que la pobreza o el crecimiento de la población humana) la carencia de incentivos suficientes para que las personas con medios y recursos tomen decisiones de conservación ([Kiss, 2002](#)). Esta misma autora sostiene a este respecto que la cuestión clave es cómo se logra incentivar a los tomadores de decisiones para que renuncien a los beneficios provenientes de actividades que amenazan a la biodiversidad, en aras de su conservación. Es aquí donde la valuación socioeconómica de los SSAA suministrados por la biodiversidad se convierte en herramienta importante para su conservación ([Martín-López et al., 2009](#)).

Siguiendo esta lógica, después de la caracterización biofísica de la calidad del hábitat para la biodiversidad, se estimaron sus valores de uso indirecto y de no-uso, que se encuentran -como mínimo- implícitos en las inversiones que el gobierno ejerce (costos sociales) para la administración de una ANP (o espacio protegido), ya que estos espacios tienen como objetivo conservar todos los aspectos de su biodiversidad.

Al no existir datos detallados y completos de esos costos del gobierno mexicano en alguna ANP de la cuenca, la evaluación se realizó además con el método de transferencia de beneficios, aplicando y adaptando a **El Cielo** un análisis de costos/ganancias elaborado para el Parque Nacional Doñana, en Andalucía.

Se asumió que esos costos llevan implícitos los valores de uso indirecto no consuntivo que la sociedad asume para disfrutar de la biodiversidad (de acuerdo con lo mencionado por [Farber, et al., 2006](#)) del parque; así como los valores de uso indirecto por la función de hábitat *per se*, y los de legado y de existencia.

La estimación costo beneficio arrojó como resultado que el Gobierno de España tiene un costo social de más de 20.2 millones de euros anual por concepto de conservación de la Biodiversidad en el Parque Nacional Doñana. Esto representa un valor de casi 273 euros por hectárea al año. Para transferir este beneficio a la Cuenca, se asumió que **El Cielo** debería tener un costo social equivalente a Doñana, para lo cual se dividió el valor anual de una hectárea de Doñana entre 5.92, que es la relación de los salarios mínimos

vigentes a enero de 2012 en ambos países. Por lo tanto, el valor de una hectárea bien conservada en la Cuenca (con 100% de calidad y 0% de degradación, según el modelo biofísico), debería tener un valor socioeconómico de al menos 62.94 euros al año. El valor anual promedio por hectárea en cada LULC se encuentra en el Cuadro IV.2.1-3.

Cuadro IV.2.1-3. Valor promedio anual por hectárea de LULC por sus servicios de calidad de hábitat para la biodiversidad en la cuenca.

LULC	€/Ha-año	LULC	€/Ha-año	LULC	€/Ha-año	LULC	€/Ha-año
BMM	61.60	MSM	57.27	PALM	46.93	AGTA	4.17
BPE	59.98	BP	56.52	BT	44.44	QUE	3.49
SMSC	59.75	SBEhzch	56.17	MZQvs	38.50	AGUA	2.67
BEBPEvs	59.60	MAN	54.13	TUL	25.87	AGTP	1.94
SBC	59.46	MZQ1	53.04	PZI	20.44	DESN	1.61
MDR	59.07	SBCvs	49.74	AGTApzi	11.76	AGR	1.23
SAMS	58.46	RIPA	49.55	PZC	6.46	URBA	0.76
BE	58.41	Promedio	47.51	INU	4.58		

A modo de comparativa a *grosso modo*, se tomaron como ejemplo algunos resultados de valuación contingente de las funciones de hábitat (como refugio y como criadero), enlistados por [Hawkings \(2003\)](#) para EEUU. Todas las cantidades fueron convertidas a USD por hectárea y trasladadas a Euros de 2011, con base en los tipos de cambio históricos publicados por <http://www.rateq.net/> y <http://www.banxico.org.mx/>:

En primera instancia, [Hawkings \(2003\)](#) menciona que en California la protección del hábitat desértico rindió (101 USD del 2001) por cada hogar (según [Richer, 1985](#), [EN Hawkings, 2003](#)), mientras que en Colorado fue de 32 USD ([Walsh et al., 1984](#), [EN Hawkings, 2003](#)) por proteger zonas silvestres, por cada hogar de ese mismo año. Traslado los valores a la cuenca, se multiplicó el valor de cada uno por los hogares locales (con datos de [INEGI, 2010](#)), y se dividió por la superficie del área de estudio, resultando en 11.9 €/Ha año y 3.77 respectivamente.

Estos valores anuales resultan claramente inferiores a los obtenidos para el ecosistema desértico de la cuenca (MDR), con 59.07 €/Ha, y al promedio de la cuenca en general (47.51 €/Ha) comparado con las “zonas silvestres”. A este respecto, [Nunes and van den Bergh \(2001\)](#) resaltan el hecho de que la mayoría de los estudios sobre biodiversidad se basan en el método de valuación contingente, principalmente debido a la dificultad de medir sus valores de no uso. Aunque las estimaciones que compararon confirman claramente la creencia de que la biodiversidad posee un significativo valor positivo para la sociedad, carecen por una parte de una distinción entre la biodiversidad y los recursos biológicos, por lo que ofrecen una perspectiva incompleta, de límites bajos a un valor desconocido de los cambios en la biodiversidad.

En Oregon, [Hawkings \(2003\)](#) menciona que Gregory y Wellman registraron en 2001 una WTP en 2002 de entre tres a cinco mil USD por cada acre adicional destinado a proteger el hábitat del salmón, lo que actualmente supondría de 938.29 a 1,563.82 €/Ha año. Como es del conocimiento general, el salmón es una especie emblemática del estado Oregon y en general del Pacífico norte.

[Scott \(2003\)](#) menciona que el salmón de Óregon (*Oncorhynchus tshawytscha*) se encuentra en estatus federal de peligro de extinción, pero su hábitat local (unidad significativa de evolución) no tiene garantía de estatus de amenaza o en peligro. En el sur de Tamaulipas no existen ANP para proteger una especie en concreto, aunque la mayoría

de sus ecosistemas naturales alberga especies con estatus de protección. Un ejemplo destacado es la nutria o perrito de agua (*Lontra longicaudis annectens*), emblemática de la ciudad de Tampico (cuyo nombre significa “lugar de perros de agua”), en estatus de amenaza según la NOM-ECOL-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010); su distribución en la cuenca se restringe al sur del sistema lagunar del Tamesí, en los LULC de tular y asociados, donde la valuación arroja valores promedio de 25.87€/Ha año. Las autoridades locales estiman que actualmente se encuentra en peligro de extinción en Tamaulipas; esto debido a los desechos urbanos que logran llegar al sistema en esa zona de Tampico, así como a la compactación de suelos y otros impactos en las laderas de los ríos (Tavera, 2011, en prensa: <http://www.gaceta.mx/vnoticias.aspx?idnota=34830>). Estudios de base se han planteado para aumentar su estatus y el de otras especies a Peligro de extinción (Sánchez, et al., 2007), a pesar de lo cual, la citada NOM mantuvo el estatus de amenaza. Por lo tanto, la valuación del salmón de Óregon, 36 veces más alta que la obtenida para el hábitat de la nutria en Tampico, puede servir para incitar a los tomadores de decisiones a realizar una valuación socioeconómica detallada del sistema del Tamesí, con enfoque al hábitat de esta emblemática especie.

Otra valuación que enlista Hawkins (2003) es más antigua (McNeely, 1988), que muestra una disminución en las ganancias de las pesquerías debido a la destrucción de los humedales costeros en todo EEUU, equivalentes a 200 M.USD por cada año del análisis (1954 a 1978). Como no especifican las superficies, se utilizaron los datos de Tiner (1984) quien reporta que a mediados de los 70, sólo quedaba el 46% de los humedales en el país, de los cuáles sólo los costeros perdieron de 6.13 millones de acres. Esto arroja una equivalencia al año 2011 de 1,545 millones de euros anuales, lo que significa 101.99 €/Ha.

Continuando con la zona sur de la Cuenca, López y Excurra (2002) indican que no existe una estimación fidedigna de la superficie de manglar que se ha perdido en México. Refieren a Spalding et al. (1997) que estimaron una desaparición de 64.57% de los manglares entre 1970 y 1992, lo que significa una reducción de casi 9,700 Km² y una tasa de deforestación de 2.9% anual, pero considera que es mucho mayor, pues de acuerdo a estimaciones que de forma personal le comunicó Dirzo, R. (1994) puede alcanzar 3.9% para el Golfo de México. En la cuenca, con estimaciones basadas en la superficie reportada por INEGI para la década de los 70, y comparándolo con la cobertura actual, se obtuvo una disminución de 81 hectáreas, que fueron sustituidas casi en su totalidad por la mancha urbana de Tampico. Céspedes (1999) encontró una relación directa entre la biodiversidad y los factores de perturbación en la zona de Tampico, que de mantenerse sin una adecuada estrategia de uso sustentable, conducirá a una pérdida intensiva de este ecosistema. Los factores más amenazantes que encontró fueron la extracción de madera para construcción, leña y pesca artesanal, la contaminación por metales pesados (que afecta a la salud humana por consumo de de pesca y ganado que se alimenta en el manglar), así como las represas y dragado de humedales, coincidiendo con las conclusiones de López y Excurra (2002).

El valor por hectárea del mangle por su contribución como hábitat de calidad por la biodiversidad es de 54.13 €/ha, cantidad que es una subestimación de su valor si se realiza con base en sus beneficios a las pesquerías, como contabilizaron Danemann et al. (2010) para las pesquerías que requieren del manglar al menos en parte de su ciclo vital. Su evaluación fue en general para México, y los valores fueron de aproximadamente 4,125.9 a 8,251.9 € por hectárea a nivel local, y de 8,609.9 a 17,217.7€/ha en el mercado regional y estatal. Es necesario aclarar que estos valores

fueron calculados sólo por retirar la franja de manglar que estuviera en contacto con el medio marino-lagunar.

La distribución espacial de los valores por hectárea en los LULC de la cuenca, resultaron de multiplicar el valor transferido del Parque Nacional de Doñana por el mapa de calidad del hábitat, que se observa en la Figura IV.2.1-9. Desde esta perspectiva, podría tenerse la impresión de que algunos sitios poseen un valor nulo o muy bajo, pues los sitios mejor valuados alcanzarán los 64.9€/ha anuales transferidos. No obstante, este mapa debe interpretarse como la inversión teórica que el gobierno (la sociedad) debería emplear por hectárea para que la población siga contando con los servicios otorgados por la biodiversidad en la cuenca. Bajo esta premisa, es más entendible el hecho de que las mayores inversiones deberían hacerse en los sitios más conservados, que coinciden por una parte con la vegetación natural de las zonas montañosas.

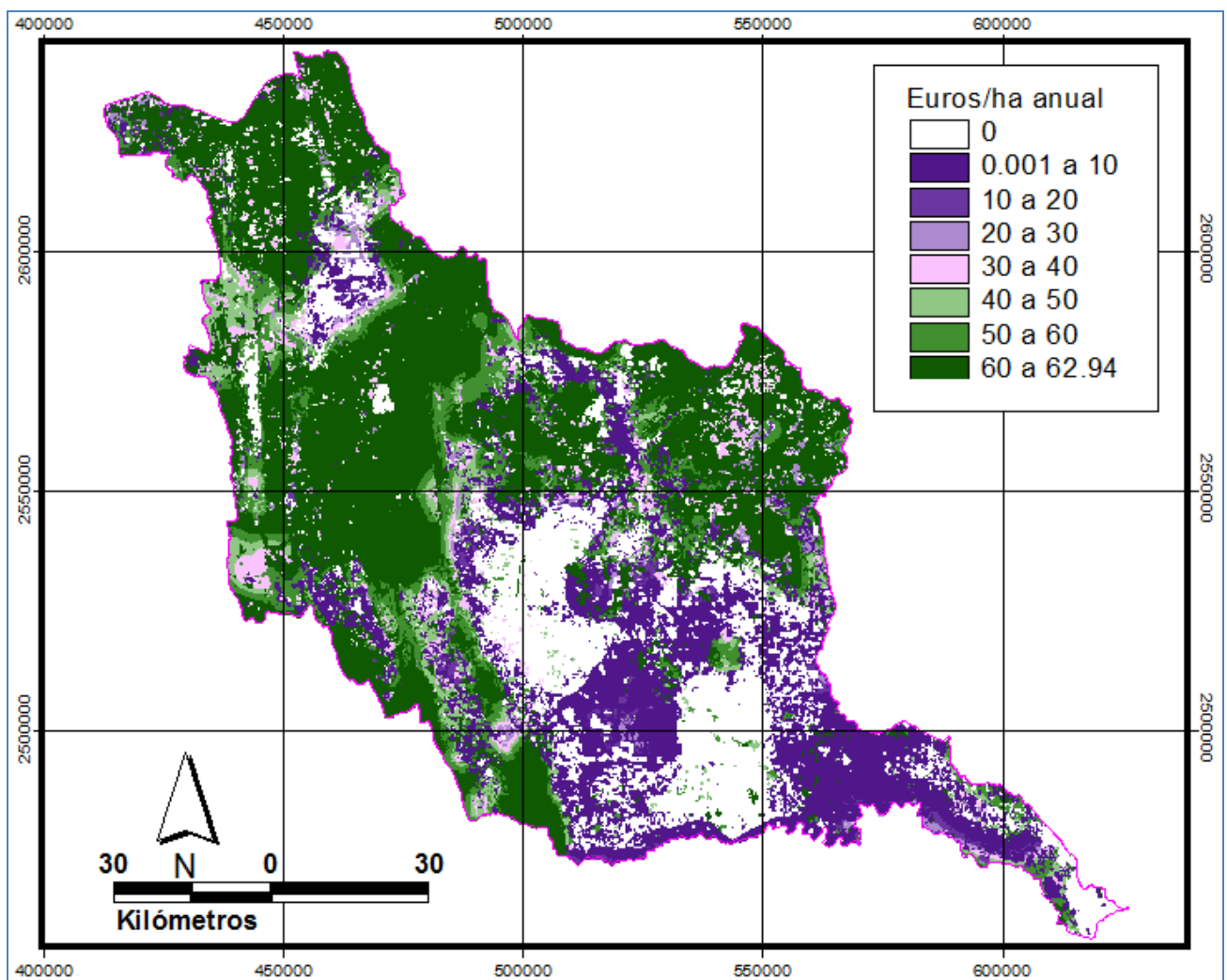


Figura IV.2.1-9. Valor socioeconómico anual por hectárea en los LULC de la cuenca, de acuerdo a su servicio de calidad de hábitat para la biodiversidad.

En la práctica, las inversiones en protección a la biodiversidad en las ANP de la cuenca son de carácter legal pero casi no existe en el aspecto financiero; Herrera *et al.* (2008) coinciden con esto al afirmar que, en la frontera norte, a pesar de existir convenios y tratados para la conservación de la Biodiversidad entre México y EEUU, la carencia de recursos monetarios en el país deja abierta la posibilidad de eximirse de las obligaciones conservacionistas. En el caso de **El Cielo**, la principal inversión en cuestiones ambientales ha sido la puesta en marcha de su CIE, con una inversión total promedio de 57'12,797.66 € anuales de 2007 a 2009 que fue inaugurado (<http://www.presidencia.gob.mx/2009/11/felicito-el-presidente-calderon-a-los-tamaulipecos-por-el-centro-interpretativo-el-cielo/>). El monto inicial resulta en 8.83 € anuales por hectárea, pero no existe información de sus costes de operación; sólo se mencionan formas de financiación dentro de su Plan de Ordenamiento (SOPDU, 2010a). Dentro de los mecanismos de instrumentación que refiere dicho documento, se enlistan algunos convenios y programas, pero no reporta ningún coste de operación; además, menciona aportes de programas de los ayuntamientos, pero en los presupuestos de Jaumave y Llera sólo aparece el rubro “parques y jardines”, con un monto de 21,990 y 18,865 euros respectivamente (0.08 y 0.082 € por hectárea al año) para 2011; Gómez Farías y Ocampo no especifican el rubro (SecGen-Tam, 2010).

Respecto a inversiones federales, al buscar “Biodiversidad” “Tamaulipas”, el Portal de Obligaciones de Transparencia del Gobierno Federal sólo se registra una inversión de 5,786.87 euros (para mes y medio, que resulta en 46,294.96 anual) por concepto de una asesoría para un proyecto de “conservación de la biodiversidad de la Sierra de Tamaulipas”. Son 0.17 euros anuales por hectárea, ejecutados por medio de la CONANP y una ONG. En esta misma ANP, PEMEX (2010, http://www.pemex.com/informes/responsabilidad_social/negocio/proteccion.html) reporta una “Intervención directa y protección en bosque de pino y encino mediante brecha corta fuego periférica”, ejecutada en 400 hectáreas de 1,050 propuestas, pero no menciona el monto utilizado, sólo lo hace con referencia a la “restauración forestal en la Subregión Planicie Costera” de todo el país, para los que menciona una inversión de “8MM” de pesos (462'949,567.43 euros?).

Ante este panorama, podría suponerse que los resultados del modelo sobre estiman el valor del SSAA de la calidad de hábitat en Tamaulipas, debido a las bajas inversiones actuales. No obstante, se debe señalar la inexistencia de estudios técnicos que avalen que esas cantidades invertidas por parte de las autoridades mexicanas son suficientes (y eficientes) para una adecuada conservación de la Biodiversidad en la cuenca. Por su parte, el éxito del Parque Nacional Doñana es del conocimiento público, como lo refieren Mediavilla *et al.* (2010), al afirmar que es el parque más citado por la población española, quien reconoce ampliamente que tiene éste y otros parques nacionales tienen como objetivo conservar “las mejores representaciones de los sistemas naturales españoles”; además, ha obtenido diferentes reconocimientos internacionales por su calidad en la gestión, como la Carta de Turismo Sostenible otorgada por Europa como certificado de calidad (RPN, 2008).

Por lo tanto, la estimación del valor socioeconómico por hectárea obtenido por transferencia de datos del Parque Nacional Doñana se considera como adecuada para el área de estudio. Sobre esta base, se calculó este valor acumulado en 2011 para toda la cuenca en 50'666,844 €, cuyo desglose por LULC se muestra en el Cuadro IV.2.1-4.

Cuadro IV.2.1-4. Valor socioeconómico (en miles de € al año) de la calidad de hábitat para la biodiversidad en cada LULC de la cuenca.

No.	LULC	m€/año	No.	LULC	m€/año	No.	LULC	m€/año	No.	LULC	m€/año
1	SBC	6,890.88	9	BEBPEvs	1,945.95	17	AGTA	553.30	25	QUE	111.58
2	SBCvs	4,958.45	10	SAMS	1,878.09	18	PZC	416.62	26	AGUA	82.15
3	BE	4,847.93	11	BMM	1,777.69	19	MZQ1	408.81	27	DESN	61.89
4	SMSC	4,753.22	12	BP	1,706.02	20	TUL	380.01	28	AGTP	17.07
5	MSM	4,545.87	13	MZQvs	1,650.25	21	PALM	361.27	29	RIPA	16.06
6	BPE	4,312.74	14	AGTApzi	1,607.33	22	PZI	222.20	30	URBA	15.76
7	SBEhzch	3,401.05	15	AGTA	553.30	23	AGR	208.08	31	MAN	13.91
8	MDR	3,252.89	16	PZC	416.62	24	BT	158.90	32	INU	2.93

Destacan los valores más altos obtenidos por los ecosistemas naturales con mayor superficie, donde la SBC supera por casi dos millones de euros anuales a su cobertura secundaria. Hablar del valor de un ecosistema por sí solo podría ser insuficiente para convencer al público en general de interesarse y esforzarse en su cuidado; por ello, [Kiss \(2002\)](#) plantea la cuestión de cómo incentivar a las autoridades (tomadores de decisiones) a invertir en la conservación de la biodiversidad; para poner en perspectiva estos valores, se compararon los de los LULC con el presupuesto total de egresos 2011 para el municipio de González (4.54 millones de euros en 2011, según [SecGen-Tam, 2010](#)), como se observa -en la Figura IV.2.1-10.

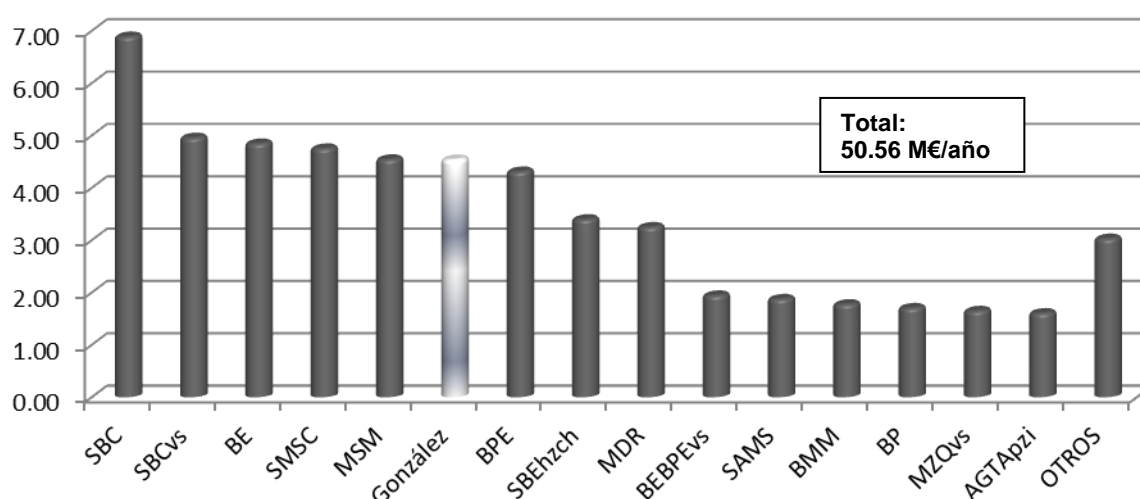


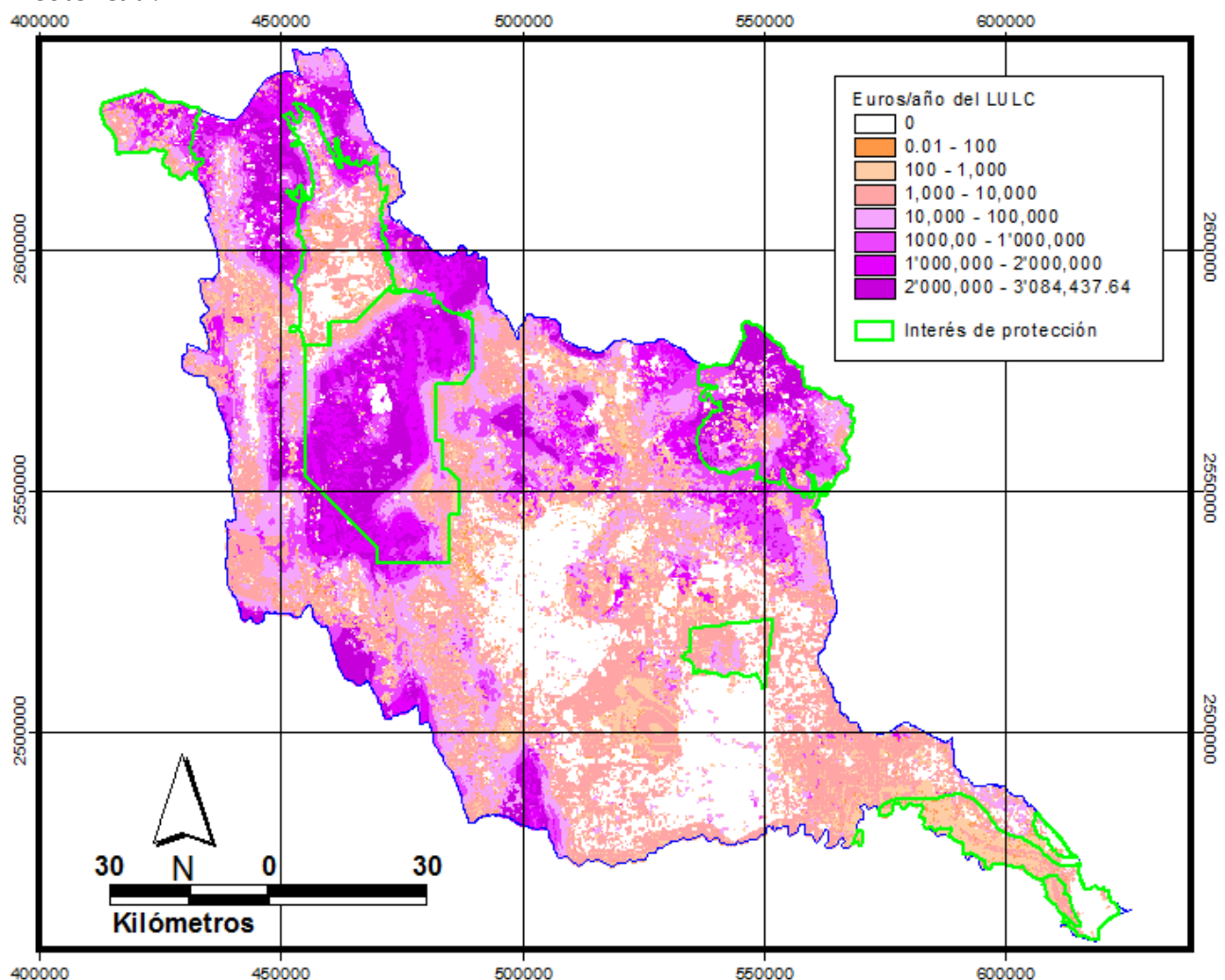
Figura IV.2.1-10. Valor socioeconómico de los mayores LULC de la cuenca, y el presupuesto anual 2011 del municipio de González (SecGen-Tam, 2010), en millones de euros anuales.

Esta es una forma de mostrar que, de surgir una disminución drástica en la calidad de un ecosistema como el MSM o el BPE, el gobierno deberá invertir -como mínimo- un monto equivalente al presupuesto de dicho municipio para obtener los mismos SSAA que presta ese ecosistema con la calidad y cantidad actual. El valor socioeconómico acumulado en toda la cuenca por su SSAA de calidad de hábitat para la biodiversidad

es de 50.6 millones de euros por año, cantidad mayor que el presupuesto de egresos para el año 2011 en cualquiera de los municipios de la cuenca.

El 17.4% de la superficie de la cuenca acumula el 32.2% del valor socioeconómico, con terrenos ocupados por selvas, bosques y matorrales primarios, valorados en más de un millón de euros anuales. Son los ecosistemas mejor conservados de la cuenca, protegidos en parte por el **ANP El Cielo** (de carácter estatal), y en otra por la propuesta de **ANP federal de la Sierra de Tamaulipas** (aún sin decreto). Las otras áreas de interés para la conservación en la cuenca prácticamente carecen de terrenos con los valores máximos (al menos no dentro del área de estudio).

La Figura IV.2.1-11 muestra la relación espacial de estas áreas y los valores de los LULC en el área de estudio. Expone el valor del SSAA prestado por los hábitats de calidad en la cuenca, que equivale a lo que la sociedad recibe como SSAA de acuerdo con los diferentes niveles de conservación de cada LULC. Por estos altos valores, se hace evidente la carencia de protección legal en las zonas montañosas de Jaumave-Miquihuana, las sierras del sur de la cuenca (con especial atención en la poco estudiada Sierra del Abra-Tanchipa), así como las mesetas centrales en los municipios de Llera y Xicoténcatl.



Como contraparte, la exposición a diferentes factores de degradación disminuye sensiblemente el valor relativo del AICA del Tamesí, así como el monumento natural del Cerro del Bernal. Por lo tanto, en estos casos el valor socioeconómico deberá analizarse desde otros puntos de vista y a una escala más detallada: el AICA, por su objetivo, debería estudiarse como calidad de hábitat expresamente para el grupo de aves (además de una valuación integral del sistema de humedales). Para caso del monumento, su valor es totalmente explícito por ser de identidad regional y estatal, al presidir el Escudo de Armas de Tamaulipas (Figura IV.2.1-12); de ser necesaria una evaluación como aportación a la biodiversidad, deberían realizarse análisis de fragmentación, de ecosistemas relicto y su función dentro de los corredores biológicos y efectos de isla.



Figura IV.2.1-12. Monumento Natural Cerro del Bernal y el Escudo de Armas del Estado de Tamaulipas.

IV.2.2. Captura y almacén de carbono

El hecho de que los ecosistemas terrestres sean capaces de disminuir la acumulación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) atmosféricos (Stern, 2007 en Tallis *et al.*, 2011) hace posible que, para la humanidad “cada unidad de GEI secuestrado permita evitar algunos daños económicos” que ocurrirían (Tallis *et al.*, 2011) por no haberse retirado esa unidad de la atmósfera. De los diferentes GEI, el bióxido de carbono (CO_2) es el que actualmente cuenta con un pago económico por tonelada retenida en los ecosistemas, y que ha generado un mercado internacional de ventas de créditos como una estrategia del Protocolo de Kyoto para disminuir la contaminación por dicho gas. En México, país miembro de la Convención Marco de Cambio Climático, este pago se realiza principalmente a propietarios comunales (conocidos como “ejidos”) que son seleccionados después de inscribirse de forma voluntaria al programa Proárbol de la CONAFOR; este programa actualmente contempla diversos SSAA, pero específicamente el pago por tonelada de carbono retenida equivale a \$97.34 MXN (5.64 €, Sosa, 2006?).

Actualmente, México es el primer país en vías de desarrollo que cuenta con una legislación específica acerca del cambio climático ([Herrera, 2012](#), en prensa: <http://www.presidencia.gob.mx/2012/07/mexico-ejemplo-de-sustentabilidad-a-nivel-mundial/>), la Ley General de Cambio Climático (LGCC), decretada en el DOF el 6 de junio de 2012 y que entra en vigor tres meses después ([SEMARNAT, 2012](#)). Dentro de sus objetivos con respecto al SSAA de captura y fijación de carbono y sus pagos, se encuentra el de “regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático” (Art. 2, Frac III); por ello, entre las atribuciones de la Federación se encuentra la de diseñar y promover “el establecimiento y aplicación de instrumentos económicos, fiscales, financieros y de mercado vinculados a las acciones en materia de cambio climático” (Art.7, Frac XX). Uno de sus principios es utilizar instrumentos económicos (como los PSA de Proárbol) que incentiven la protección, preservación y restauración de los ecosistemas, así como su uso sustentable (Art. 26, Frac IX). En cuanto a la mitigación del cambio, menciona como acciones la reducción de emisiones y captura de CO₂ el “mantener e incrementar los sumideros de carbono”, incrementar “más ecosistemas a esquemas de conservación”, como los PSA y ANPs, así como “Diseñar y establecer incentivos económicos para la absorción y conservación de carbono en las áreas naturales protegidas y las zonas de conservación ecológica” (Art. 34 Frac III a, e y h).

Por su parte, dentro de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (a la que se refiere la LGCC en sus Artículos 60 al 64), cuya síntesis ejecutiva data de 2007, presenta dos campos de oportunidad para la mitigación de las emisiones de GEI: respecto a la generación y el uso de la energía, y a la vegetación y el uso del suelo; en la primera se enfoca a reducir las emisiones mediante y generación de “energías limpias, sustentables, eficientes y competitivas”. Las acciones respecto a la vegetación y el uso del suelo se dirigen al SSAA en sí, ya que además de enfocarse a reducir las emisiones provenientes del uso del suelo, las acciones en este rubro se orientan a la “conservación de carbono, captura de carbono y sustitución de carbono”; las oportunidades de conservación o almacén contemplan cuatro actividades: desarrollo forestal sustentable, PSA, conservación de ecosistemas forestales en ANPs, unidades para el manejo y aprovechamiento de vida silvestre y sanidad forestal; con éstas actividades se pretende almacenar 12,800 a 23,350 millones de toneladas de CO₂ equivalente para 2012 ([CICC, 2007](#)).

En los países desarrollados con grandes emisiones de GEI y escasa superficie de ecosistemas que realicen el SSAA de captura y fijación de gases, han decidido emplear fondos públicos para realizar estas funciones. Una acción de este tipo, y que da una idea del costo de reemplazo o sustitución del SSAA por ecosistemas naturales, fue anunciada por el Secretario de Energía y Cambio Climático del Reino Unido, Davey (2012, en prensa: <http://www.guardian.co.uk/environment/2012/apr/03/carbon-capture-storage-competition>): el Reino asignará un billón de libras esterlinas para impulsar el desarrollo de tecnologías que capturen el CO₂ proveniente de plantas de generación de energía y lo almacenen de forma permanente en el subsuelo, como una forma de alcanzar las metas en materia de cambio climático.

Por su parte, y aunque en este trabajo no se evaluaron servicios por atenuación y prevención de riesgos naturales, es importante señalar que [Boyd y Banzhaf \(2007\)](#) opinan que un bosque que captura CO₂ no cuenta como SSAA final en la prevención de daños relativos al clima. Deben ser medidos en “otros servicios”. SSAA que deben

entrar en la contabilización de esos riesgos incluyen los humedales como SSAA final de prevención de daños a la propiedad por inundaciones, así como la cobertura natural biodiversa, como SSAA final que previene el daño a cultivos debidos a la sequía, erosión y pestes.

IV.2.2.1. Descripción biofísica del SSAA

Aunque existen estimaciones de captura y almacén de carbono de ecosistemas mexicanos, en Tamaulipas son escasos (Rodríguez Laguna *et al.*, 2007). Por ello, se generó una base de datos para este trabajo como sistema de referencia para integrar y transferir los valores específicos de carbono almacenado en los cuatro sumideros de cada uno de los ecosistemas de la cuenca. En total, 98 referencias acerca de contenidos de carbono en diferentes ecosistemas estuvieron disponibles para esta investigación; 47 de éstas fueron usadas para ingresar los valores al modelo. Los estudios realizados en México a este respecto fueron 21, y en la cuenca se limitan a los llevados a cabo por Manzano *et al.* (2009) para mezquital en el Noreste de México y los de Rodríguez Laguna *et al.* en El Cielo para: BMM (2006), SBC (2008) y BEP (2009). Una vez integrada la base de datos, se ingresó al modelador del Invest, que realiza la suma algebraica de los cuatro sumideros por LULC, y posteriormente asigna a cada pixel del *grid* el valor correspondiente.

De acuerdo con De Alba y Reyes (1998), las estimaciones de carbono almacenado en los ecosistemas dependen de su tipo, edad, densidad, y si se incluyen factores de dinámica en el uso del suelo, se obtienen valores de captura (con valor ambiental positivo, como el almacén) y liberación (con valor negativo, al contribuir con el calentamiento de la atmósfera). El modelo biofísico de este SSAA expresa el carbono almacenado por hectárea en los LULC de la cuenca, de acuerdo con las estimaciones para cada uno de los sumideros evaluados, y que se reportan en la literatura: biomasa aérea, biomasa del subsuelo, materia orgánica en descomposición (MOD) y carbono del suelo (ver Cuadro III.4.2.2-1, del Capítulo III).

Los suelos de representan el sumidero de mayor importancia en la cuenca, contribuyendo 111.31 M MgC, lo que significa poco más del 59.6% del total. Los ecosistemas acuáticos son los de mayor contenido de carbono en el suelo por hectárea, ya que son ricos en materia orgánica (Martínez y Masera, 2003). No obstante, dichos ecosistemas tienen escasa cobertura superficial, por lo que no son grandes contribuyentes este sumidero en general; esto con excepción de los cuerpos de agua, pues su superficie es lo suficientemente extensa como para contribuir con 5.54 millones de toneladas, ocupando el séptimo sitio en aportación, después de las selvas caducifolias y subcaducifolias y de los terrenos ya sea con actividad agrícola de temporal o pecuaria.

Los ecosistemas con dominancia de estructura arbórea obtuvieron los más altos valores de biomasa aérea por hectárea. Esto, aunado a su significativa cobertura superficial hace que, en conjunto, las selvas subhúmedas (SMSC, SBC y SBCvs) aporten más de la mitad (52.4%) del carbono almacenado en este sumidero de la cuenca, que se estimó en 64'664,278.28 Mg C. Este es el segundo de importancia, que con 57.22 M MgC provee 30.6% del almacén total.

Los depósitos conformados por la biomasa del subsuelo y la **MOD** representan respectivamente 5 y 4% del almacén total de carbono en la cuenca. El primero, con 9.832 millones de toneladas y el segundo con 8.603. Por su estructura arbórea, el manglar es el ecosistema que presenta más carbono almacenado por hectárea en cuanto a biomasa del subsuelo, pero por aportación como LULC son las selvas subhúmedas y los bosques de encino los que contribuyen con más de un millón de toneladas cada uno a este depósito. En cuanto al carbono almacenado en la **MOD**, destacan las comunidades acuáticas y subacuáticas por su alto contenido por hectárea (con el manglar también en el primer lugar), pero como LULC, sólo las selvas subhúmedas y la agricultura de temporal en fase de abandono supera el millón de toneladas, sobresaliendo la SMSC con 2.23 millones de toneladas de carbono depositadas en la **MOD**.

El contenido total de carbono almacenado estimado en el área de estudio es de 186.72 millones de toneladas (186'717,312.14 MgC), para octubre de 2011. La Figura IV.2.2-1 representa la distribución espacial de este SSAA prestado por los ecosistemas de la cuenca. Destaca una mayor concentración tanto en las porciones de menor altitud de las áreas montañosas, donde se ubican las regiones selváticas; como en las zonas de vegetación secundaria asociada con ecosistemas acuáticos.

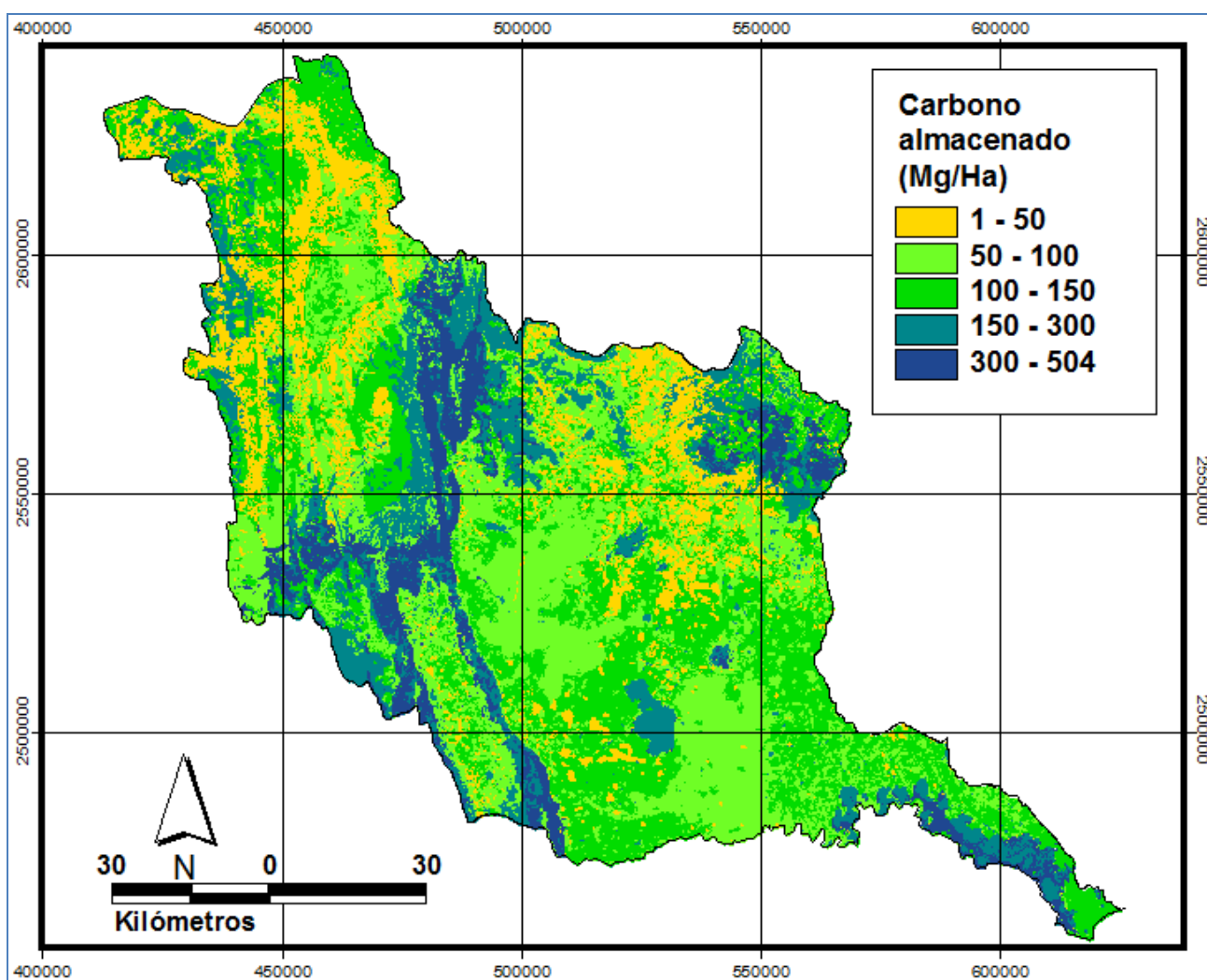


Figura IV.2.2-1.- Modelo de la distribución espacial del carbono almacenado en el área de estudio para octubre de 2011.

Correspondiendo con la distribución espacial ya mencionada, destaca por su aportación al almacén de carbono en la cuenca el grupo de las selvas húmedas- subhúmedas y los palmares (SBC, SBCvs, SMSC, SAMS y PALM), seguido del sistema agropecuario y de los bosques (Figura IV.2.2-2). Los ecosistemas con menores densidades vegetales, como los cuerpos de agua y los asociados a condiciones menos húmedas obtuvieron los valores más bajos dentro de las comunidades nativas. Como era de esperarse, el grupo de los sistemas perturbados y las manchas urbanas son los de menor contribución al almacén de carbono en la cuenca.

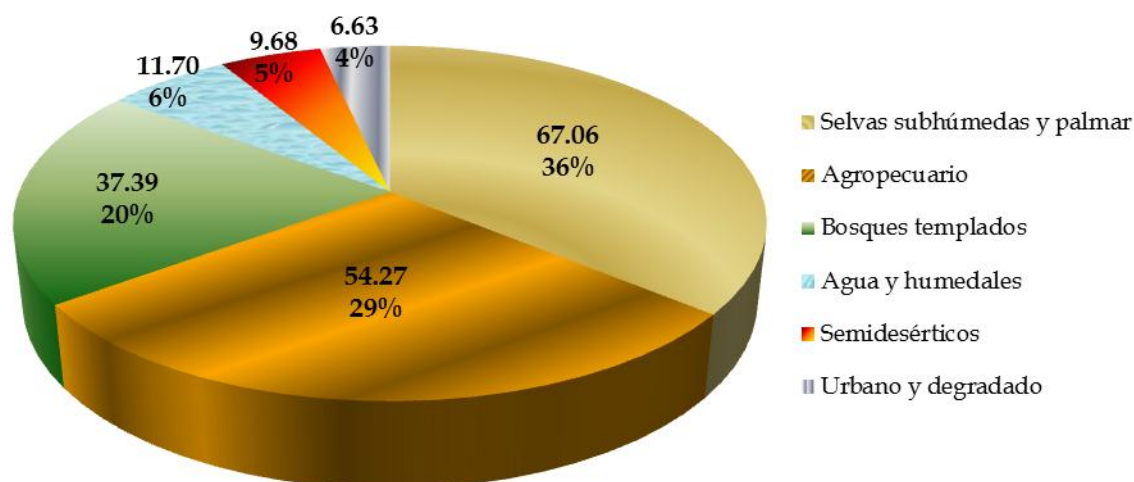


Figura IV.2.2-2. Aportación al almacén de carbono en la cuenca, por grupos principales, en M de Mg para 2011.

En cuanto a los contenidos por LULC, el Cuadro IV.2.2-2 muestra las cantidades de carbono almacenadas por hectárea y por superficie total de cada uno.

Cuadro IV.2.2-2. Carbono almacenado en los LULC de la cuenca, según su contenido por hectárea.

LULC	Mg C/Ha	Mg C/ LULC	LULC	Mg C/Ha	Mg C/ LULC	LULC	Mg C/Ha	Mg C/ LULC
MAN	505.40	129,528	AGTP	165.43	1'433,259	PALM	82.27	623,538
SAMS	414.00	13'300,992	PZC	141.40	9'032,380	SBCvs	80.70	8'044,983
TUL	346.48	5'067,015	AGTApzi	137.74	18'584,808	MZQvs	67.15	2'828,760
SMSC	307.00	24'421,850	BEBPEvs	136.12	4'408,020	DESN	60.80	2'301,480
BP	262.03	7'908,208	BPE	136.12	9'707,040	AGR	56.25	9'313,590
BT	262.03	936,912	PZI	127.30	1'369,620	SBEhzch	46.34	2'724,615
INU	218.05	138,663	AGTA	116.61	15'462,603	RIPA	31.19	9,396
BMM	217.91	6'233,112	MZQ1	113.05	863,296	MDR	23.21	1'211,584
AGUA	205.55	6'280,140	URBA	107.20	2'163,630	MSM	23.21	1'746,294
SBC	178.30	20'395,760	BE	96.62	7'885,380	QUE	22.00	670,572

Fuente: elaboración propia con datos recabados de los autores mencionados en el Cuadro III.4.2.2-1, del Capítulo III

En primera instancia, y aunque con escasa contribución al almacén de carbono en la cuenca (por ser el de menor superficie), el ecosistema con mayor capacidad por hectárea es **el manglar**, con más de 505 MgC. [Donato et al. \(2011\)](#) coinciden con este resultado al afirmar que se encuentra entre los bosques tropicales con mayor riqueza en contenido de carbono; [Kayranli et al. \(2010\)](#) van más allá, afirmando que los humedales en general, son los ecosistemas terrestres con más alta densidad de dicho elemento. En el Indo-Pacífico, alcanzan hasta 1,203 MgC/Ha ([Donato et al., 2011](#)), aunque [Jerath \(2012\)](#) estimó un contenido mucho mayor en los manglares de Florida, de 7,144. Gran parte de estos contenidos (49 al 98%) se encuentran formando parte de sus suelos ricos en materia orgánica; por esta razón, al enfrentarse a los cambios de uso de suelo, estiman

que se liberan emisiones equivalentes al 10% de la deforestación global anual, a pesar de tratarse de un área de apenas 0.7% del total deforestado (Donato *et al.*, 2011).

Otros humedales de la cuenca presentan sistemas parecidos al manglar, con suelos que suelen ser ricos en materia orgánica, como afirman Martínez y Masera (2003) quienes encontraron una mayor cantidad de carbono en el suelo de pastos de sitios inundables (que en este trabajo incluye a los tulares dominados por *Typha* spp.) que en otras partes de la biomasa, debido a la rapidez con que la materia orgánica se descompone en condiciones de alta humedad. Por ello, los otros humedales de la cuenca obtuvieron altos valores de carbono por hectárea: **el tular y las zonas inundables**, con 346.5 y 318 Mg C/Ha, y que en conjunto aportan 5'205,678 Mg C al almacén del área de estudio. Los tulares más importantes por su superficie en la cuenca se encuentran asociados y contiguos a la vegetación de manglar, formando parte del sistema lagunar del Tamesí; se ubican entre los ecosistemas con mayor productividad primaria neta en el mundo (clasificados como "pantanos"), debido a una alta eficiencia en el uso del carbono, más que en su alta tasa de fijación reflejada en su acelerado crecimiento fotosintético (Rocha y Goulden, 2008). No obstante, estos almacenes son altamente propensos a actuar como emisores de GEI, según señala Hernández (2010); tal autor elaboró un balance en los humedales como sumidero de carbono y fuente de metano, encontrando que el sumidero es muy alto debido a la formación de turba, pero con la sequía o drenaje, el carbono fijado se oxida, liberándose a la atmósfera, ya sea como CO₂ o como metano.

Las selvas altas y medianas, como ecosistemas tropicales, se encuentran considerados dentro del mayor sumidero terrestre de carbono y con más alta productividad (Jaramillo *et al.*, 2005); en la Cuenca, almacenan un total de 37'722,842 MgC, contribuyendo así con el 20.2% del total. Los valores para la SAMS y la SMSC fueron tomados de coberturas homólogas de Los Tuxtlas (Veracruz) en la primera y de Chamela (Jalisco) en la segunda; en estos sitios, dichos autores reportan que, a pesar de presentarse una significativa diferencia de precipitación anual (~700 mm y ~ 4000 mm), ambos poseen niveles similares en su almacén de carbono; las condiciones de humedad de Chamela son similares e incluso más secas que las de la SMSC (entre 700 y 1300 mm, según el SMN: <http://smn.cna.gob.mx/>) en la cuenca, mientras que las relativas a la SMSC se reportan muy inferiores a Los Tuxtlas (de 750 a 1500 mm, según el SMN: <http://smn.cna.gob.mx/>).

Las selvas bajas y subcaducifolias, con menores contenidos por hectárea (Jaramillo *et al.*, 2005, reportan una diferencia de almacén entre las semidecíduas y las decíduas de hasta tres veces más) pero mayor extensión superficial, participando con el 15.4% del total (28'707,279 Mg C), que llega a 28.7% si se contabiliza la comunidad secundaria. Los factores que determinan la significativa productividad en estas selvas son su alta biodiversidad, sus densidades arbóreas y su grado de conservación (Rodríguez-Laguna *et al.*, 2008). Es importante señalar que los valores para estas comunidades fueron tomados de estudios específicos para la zona, en el caso de la SBC (Rodríguez-Laguna *et al.*, 2008), y para selvas similares en el suroeste de México (Jaramillo *et al.*, 2005).

Resalta además el hecho de que la SBCvs presente un mayor contenido de carbono por hectárea que los matorrales, lo cual contradice a Ortiz y Kanninen (2000) en cuanto que las coberturas primarias acumulan mayores cantidades de biomasa que las secundarias. No obstante, es necesario apuntar que Etchevers *et al.* (2001) señalan que el suelo (que es el principal sumidero de esta selva) en ecosistemas de vegetación natural que han

sido alterados resulta un almacén altamente significativo. En su trabajo, encontraron mayores cantidades de carbono en bosques jóvenes (producto de la remoción de bosques primarios) que en otros de mayor edad y con ciertos niveles de manejo (extracción de leña o agricultura). Esto es importante de señalar para las cuestiones de manejo de los sitios alterados, ya que otras coberturas vegetales en sucesión en la cuenca muestran mayor captación que sus homólogas primarias, como las de bosque mixto de pino y encino y las zonas agrícolas en abandono. A este respecto, [Jaramillo et al. \(2005\)](#) estiman que, para que las selvas tropicales secundarias mexicanas alcancen un 90% de su biomasa original, deben pasar hasta 79 años desde el momento del abandono del terreno; esto es lo que les da un alto potencial como sumideros de carbono, lo cual depende de la conservación y manejo sostenible de estos ecosistemas.

Las comunidades de **bosques templados** son otro grupo de alta aportación por hectárea al almacén de carbono en la cuenca. Destacan primero los bosques de coníferas y de *Junniperus* (BT), seguidos del bosque de niebla, todos con aportaciones mayores de 200 Mg C/Ha; mientras que en los bosques mixtos se estimaron 136 Mg C/Ha. Estas estimaciones son consistentes con los valores reportados para Chiapas por [De Jong \(2001\)](#), quien, sin incluir los contenidos de carbono del suelo, señala rangos de 243 a 566 tC/Ha; aunque sus resultados son mayores para bosques de encino, con 232 a 818; así como 229 a 596 para los mixtos, y aún para los degradados y fragmentados, de 168 a 402. En la cuenca, el bosque de encino resalta por una menor producción por hectárea, pero por su superficie supera en cuanto a su aportación total a la del BP; en conjunto con el bosque mixto primario, contribuyen con el 13.8% del total de la cuenca, que aumenta a 20.02% si se suma la cobertura secundaria, el BMM y el BT; cabe destacar que este último bosque ocupa una superficie muy reducida, de forma que la aportación individual es de apenas el 0.46%. [Etchevers et al. \(2001\)](#) reportan una mayor producción en el BMM de la región Mazateca (en Oaxaca), debido a que en este trabajo se utilizó el carbono de la biomasa aérea estimado por [Rodríguez et al. \(2006\)](#) para **El Cielo**; en este sitio de la cuenca los autores obtuvieron las mediciones sólo de los fustes de árboles, y sostienen que es un almacén de alta permanencia debido a las condiciones de alta humedad persistentes en su área de estudio.

Es importante aclarar que [Tallis et al. \(2008\)](#) sugieren que en la modelación a través de InVest 1.005 no se evalúe la fijación de carbono en **material herbáceo o de cultivos no leñosos**, ya que no representa un depósito a largo plazo, pues el carbono de éstos suele reciclarse muy rápido. No obstante, en este trabajo se evaluaron los sistemas agrícolas de anuales (de riego y de temporal), sumados a los permanentes (de carácter leñoso), a los pecuarios (PZC) y a los pastizales inducidos, debido a que se está analizando el carbono almacenado en un momento del tiempo, correspondiente al mapa del LULC (Noviembre 2011). De esta forma, se encontró que el contenido de carbono por hectárea en **los sistemas agropecuarios** es tanto o más alto que algunos ecosistemas naturales, especialmente los más xerófilos; no obstante, y debido a su extensión superficial, aportan un importante almacén de carbono, equivalente al 29.1% del total en la cuenca. Sin embargo, es necesario señalar que el sistema agrícola con mayor almacén por hectárea es precisamente el de carácter permanente, que aporta 165.43 MgC/ha, constituido en la cuenca principalmente por sembradíos citrícolas y huertas de mango; estos son los de menor extensión en la cuenca con respecto a los otros sistemas agropecuarios, por lo que su aportación total es también la más baja relativamente.

Los sistemas anuales de cultivo, son un almacén de carbono temporal en la cuenca, cuya biomasa en general suele reciclarse pronto con su uso como pastura. [Etchevers, et al. \(2001\)](#) detectaron este tipo de cultivo contienen mayores cantidades de carbono que los sistemas naturales. Estos autores se muestran sorprendidos al encontrar el doble de la cantidad de carbono almacenada en labranza tradicional de la región Mixe de Oaxaca respecto a los sistemas naturales (bosques secundarios jóvenes), mencionando que la mayor parte proviene del suelo, explicando esta distribución con la profundidad del suelo más que por otros factores tales como las especies del bosque, su edad o sus condiciones de manejo. Encontraron que los sistemas agrícolas anuales con labranza tradicional suelen acumular cantidades similares de carbono que los sistemas boscosos de su estudio (en Oaxaca), pero la diferencia es que en el bosque se acumula en la biomasa, mientras que en la labranza lo hace en el suelo; esto lo explican relacionando el contenido de carbono con la profundidad del suelo que se utiliza en los sistemas agrícolas de temporal.

Los cuerpos de agua perennes, como los humedales con vegetación emergente, logran fijar un importante contenido de carbono por hectárea, con más de 205 Mg, contando sólo con las aportaciones de los sumideros analizados. En estos sistemas, el mayor reservorio se encuentra en el suelo, con el 86% del total, seguido de la materia orgánica en descomposición, con 8%, mientras que el resto es aportado entre las macrófitas, sus raíces y el fitoplancton. [Erich et al. \(2010\)](#) analizaron algunos “suelos subacuáticos” de sistemas lacustres y estuarinos, sosteniendo la importancia de no clasificarlos sólo como “sedimentos”, sino como suelos capaces de actuar como un sustrato dentro del sistema, para así poder ser estudiados en forma similar a los de carácter “sub-aéreo”; introducen el concepto de *underwater landscapes*, “paisajes sub-acuáticos” que con una traducción más contextualizada hacia el manejo podría ser “terreno sumergido”, que es el enfoque que se le dio al incorporar los cuerpos de agua en esta parte del trabajo. Siguiendo esta idea, el carbono fijado por los sedimentos se extrapoló al reservorio de la materia orgánica en descomposición y la vegetación sumergida y el plancton se hicieron equivalentes a la biomasa aérea. Evaluados de esta forma, los cuerpos de agua aportan el 3.4% del carbono almacenado en la cuenca.

Al contar con una menor cobertura y densidad arbórea, **los ecosistemas de mayor afinidad xerófila** presentan en general los más bajos almacenes de los sistemas naturales estudiados. Los valores estimados no superan los 70 Mg/Ha, excepto la comunidad primaria de mezquital, con poco más de 113. [Návar y Jurado \(2009\)](#) informan que los valores de productividad foliar obtenidos en campo para matorrales semidesérticos tamaulipecos resultaron menores en comparación de otros sistemas arbóreos tropicales; no obstante, los encontrados en el sistema radicular son mayores a otros ecosistemas, lo cual coincide con [Bart y Klennedson \(1982\)](#), quienes refieren que el extensivo sistema radicular del mezquite le permite una mayor absorción de nutrientes, que resulta en una mayor concentración de carbono y nitrógeno. Es importante señalar que existen evidencias de que los sistemas arbóreos de las sabanas semiáridas incrementan el carbono del suelo, mejorando sus propiedades físicas y aumentando con ello la productividad del terreno, por lo que debe ponerse más atención al manejo de las especies arbóreas de estos ecosistemas ([Geesing, et al., 2000](#)).

En relación a este tipo de vegetación y su dinámica de captura/almacén de carbono, [Rahim et al. \(2010\)](#) señalan que, el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera representa una ventaja para las plantas con metabolismo C3 (principalmente elementos leñosos) sobre las de tipo C4 (según citando dicho autor a Mayeux et al., 1991); esto aporta argumentos a la hipótesis de Archer (1994 EN [Rahim et al., 2010](#)) de que el incremento de las especies leñosas de los matorrales y pastizales del noreste de México y el sur de EEUU se debe a más bien a cambios atmosféricos y no a una mejora en el manejo.

[Lal y Augustin \(2012\)](#) mencionan que **los centros urbanos** en crecimiento consumen numerosos recursos naturales para su desarrollo y actividades cotidianas, generando grandes cantidades de desechos y contaminación, lo que constituye el principal conductor antropogénico del cambio climático. [Lal \(2012, en Lal y Augustin, 2012\)](#) refiere que la urbanización influye sobre el ciclo global del carbono porque altera las fuentes y sumideros de carbono, debido a los procesos urbanizadores que modifican la geoquímica del suelo, tales como superficies impermeables, sistemas de agua potable y drenaje, alteraciones drásticas en el paisaje y perturbación de procesos ecológicos.

A pesar de su pequeña superficie relativa, son las mayores fuentes de emisión de GEI, pero al mismo tiempo resultan ser un importante sumidero de carbono, por lo que con un adecuado manejo y restauración de los ecosistemas que se encuentran en esas áreas, se puede también contribuir a la reducción de emisiones y generar otros SSAA ([Lal \(2012, en Lal y Augustin, 2012\)](#)). En la cuenca, el contenido de carbono en las manchas urbanas alcanzó 107.2 Mg/Ha, cantidad superior a la de la mayoría de las comunidades vegetales más secas, así como a otras más húmedas como la SAMS y la vegetación riparia; esto coincide con lo reportado por [Churkina et al. \(2009, en Lal, 2012\)](#), quienes estimaron que el carbón almacenado en los asentamientos humanos puede ser de dos a tres veces mayor que en áreas rurales, y de 1.7 a 5.8 que en selvas tropicales; mientras que [Roshetko et al. \(2002\)](#) mencionan que puede alcanzar valores similares a los encontrados en superficies con vegetación secundaria.

La vegetación urbana se encuentra expuesta a temperaturas y concentraciones de contaminantes mayores que en el campo, lo que puede reducir su tasa fotosintética, pero también existe una más alta concentración de CO₂, por lo que, en contraparte, pueden aumentar considerablemente su productividad, tal como reporta [Ziska et al. \(2004, en Lal, 2012\)](#), quienes estimaron un 115% de aumento en la biomasa aérea de las plantas anuales urbanas comparadas con las rurales. Por otra parte, los suelos de estos asentamientos, contienen 64% del carbono almacenado [Churkina et al. \(2009, en Lal, 2012\)](#), lo que se debe a que grandes cantidades de carbono se integran definitivamente al suelo cuando éste es sellado con materiales firmes como el cemento y otros [Lal \(2012, en Lal y Augustin, 2012\)](#).

Las **zonas quemadas** representadas en el modelo reportan un bajo valor de almacén de carbono, con 22 Mg/Ha, e incluyen áreas afectadas por incendios en comunidades boscosas, principalmente en la cuenca alta; así como extensas zonas de matorrales y vegetación secundaria de selvas que en octubre de 2011 no se habían recuperado de la sequía; además de predios agrícolas siniestrados y de pastizal, estos ubicados principalmente en la zona temporalera, que por la sequía de ese año reportaron

pérdidas totales (Hernández, 2011. En prensa: <http://eldiariodevictoria.com.mx/2011/12/07/siniestra-sequia-90-de-cosechas/>: 12-ene-2012). En su estudio, Kauffman, *et al.* (2009) exponen las características dinámicas de la biomasa y los flujos de CO₂ en sitios que han sido afectados por incendios, resaltando el hecho de que, en los trópicos, dichos siniestros en conjunto con la deforestación por otras causas, contribuyen a que las emisiones de carbono sean mayores que las que capturan esos sitios al recuperarse con la formación de bosques secundarios. Refieren que en las zonas secas (como algunas de las siniestradas en el área de estudio) donde las masas boscosas son más pequeñas, se consume del 62 al 82% de la biomasa aérea; esta situación es parecida a la que enfrentan los bosques secundarios jóvenes, que son más vulnerables a la deforestación. En particular, Vargas, *et al.* (2008-37) encontraron que, para que un terreno de SBC quemado recupere su biomasa total a un 90% de la de una selva madura, se requiere un lapso de 70 años sin que se presenten nuevos siniestros; 50 años son necesarios para la recuperación de esa selva en cuanto a contenido de carbono.

Por su parte, existen sitios con incendios recurrentes, encontrados en las zonas boscosas y de pastizales de las zonas montañosas como los clasificados por CONABIO/CONAFOR (Gob.Edo., 2011) con muy alta vulnerabilidad a incendios en la cuenca, así como las zonas selváticas con vulnerabilidad alta; en esos lugares, la vegetación secundaria se convierte en una fuente de emisiones de CO₂ por varios años, como afirman Kauffman, *et al.* (2009). Estos mismos autores mencionan que, en el caso de los incendios recurrentes en selvas altas y medianas, son generalmente provocados para eliminar la materia orgánica o para usarlos en pastoreo; en éstos se libera alrededor de 39% de la biomasa en la primera ignición, quedando una mayor cantidad de madera muerta, que es el sumidero de carbono remanente del siniestro.

En países del trópico húmedo como Camerún, Brasil e Indonesia, Palm, *et al.* (1999) en su estudio de sucesión de terrenos siniestrados por el fuego, señalan que, contrario a lo que sucede en los terrenos manejados con labranza tradicional en Oaxaca (que refieren Etchevers, *et al.*, 2001), en los sitios siniestrados en sucesión el potencial de secuestro se encuentra en la biomasa y no en el suelo.

Es necesario resaltar la importancia de aplicar una adecuada estrategia de prevención de incendios forestales en el área de estudio, ya que como señala Kauffman, *et al.* (2009), los incendios recurrentes tienen en los flujos de carbono ya que en los primeros 4-10 años desde el primer incendio, las emisiones llegan a igualar el contenido de carbono de la biomasa aérea del bosque primario; además, los círculos viciosos del cambio climático, el cambio de uso del suelo y el aumento de la fragmentación de ecosistemas “pueden resultar en incremento de la superficie incendiada, así como en la cantidad de biomasa consumida por el fuego por unidad de área”, efectos que pueden “limitar la capacidad de los bosques tropicales para secuestrar carbono y nutrientes”.

En cuanto a la **captura de carbono**, se estimó que los ecosistemas de la cuenca fijaron una cantidad bruta (antes de balance) de 4'495,846.79 MgC en el año 2011. La obtención de la captura neta quedó fuera del alcance de esta investigación, ya que no se contó con datos suficientes para realizar un balance fuente/sumidero; a este respecto, Pan, *et al.* (2011) refieren que se desconoce el tamaño y localización exactos de los sumideros terrestres de carbono, y que las mayores incertidumbres se presentan en los trópicos;

señalan que incluso las significativas emisiones brutas producto de la deforestación tropical “son usualmente despreciadas” en los balances, debido a que más de la mitad se compensa por la captura de los bosques tropicales en recuperación, ya sea de deforestación o tala, o en sitios agropecuarios en abandono.

Dentro del mismo contexto de los autores arriba citados, y considerando como potenciales sumideros dentro de un balance teórico a los ecosistemas nativos de la cuenca, sus coberturas en sucesión (incluyendo las zonas quemadas), los cuerpos de agua y agricultura permanentes (Cuadro IV.2.2-3), se obtiene una fijación de 3'067,927.44, lo que representa el 68.2% de la captura bruta total en la cuenca. El restante casi 32% fue secuestrado por coberturas antropogénicas de uso agropecuario, que puede considerarse tienen una mayor probabilidad de convertirse en fuente de emisiones; así como las zonas inundables, que al secarse (o drenarse) emiten el carbono secuestrado (Hernández, 2010).

Cuadro IV.2.2-3. Captura bruta de carbono en los diferentes LULC de la cuenca, con la característica más probable al ser evaluados dentro de un balance.

LULC	Mg C/año	BALANCE	LULC	Mg C/año	BALANCE	LULC	Mg C/año	BALANCE
AGR	711,219.60	Fte/Sum	BMM	144,285.00	Sumidero	MDR	44,057.60	Sumidero
BE	486,403.44	Sumidero	AGTA	132,601.00	Fte/Sum	TUL	38,773.68	Sumidero
SBC	451,951.50	Sumidero	MSM	85,727.16	Sumidero	PZI	27,175.00	Fte/Sum
SMSC	437,525.00	Sumidero	MZQvs	83,148.40	Sumidero	MZQ1	14,953.52	Sumidero
BPE	421,357.44	Sumidero	QUE	79,830.00	Sumidero	BT	5,542.80	Sumidero
PZC	251,616.30	Fte/Sum	SBEhzch	65,390.76	Sumidero	INU	1,150.20	Fte/Sum
AGTApzi	225,477.45	Fte/Sum	PALM	61,507.02	Sumidero	URBA	535.76	Fte/Sum
SBCvs	199,380.00	Sumidero	AGUA	55,413.00	Sumidero	RIPA	486.00	Sumidero
SAMS	189,555.20	Sumidero	BEBPEvs	54,202.32	Sumidero	MAN	462.60	Sumidero
BP	176,878.24	Sumidero	AGTP	49,240.80	Sumidero	DESN	0.00	-

Las manchas urbanas, son un caso particular, ya que en un balance de carbono, son consideradas *per se* como las zonas con mayores emisiones de GEI (Lal y Agustín, 2012), por lo que su fijación anual como ecosistema podría ser menor que sus emisiones. Esto no necesariamente ha sido así durante el desarrollo de estos ecosistemas artificiales, pero sin duda aumentó considerablemente con el establecimiento de las zonas industriales, el crecimiento de la mancha urbana y la introducción masiva de automóviles y medios de transporte. Por esta razón, las zonas urbanas se consideraron en este estudio como posible fuente de emisiones, tomando en cuenta las condiciones actuales, pero al mismo tiempo como un almacén de tipo permanente en la cuenca, por la menor probabilidad que existe de que cambie a otro uso de suelo y se libere el carbono almacenado en los suelos y estructuras, como sucede en los terrenos agrícolas.

De forma similar a las manchas urbanas, los suelos desnudos fueron evaluados como almacén equivalente a los suelos urbanos, pero sin dinámica de fijación de forma similar a las dunas de arena, como sugieren Xie y Leschen (2012). En caso de existir un cambio, podrían quedar cubrirse de vegetación nativa o cultivada, o bien ser urbanizados; por lo que su mayor probabilidad en un balance sería o como sumidero o quedar sin dinámica.

La agricultura de riego, con altas tasas de fijación anual y gran superficie en la cuenca, alcanzó la mayor captura bruta anual (más de 711 MgC anual); pero debido a que en la cuenca la mayor superficie de esta actividad se encuentra dedicada al cultivo de caña de azúcar, en las condiciones actuales de manejo y cosecha (como la práctica de la quema durante la zafra) el balance de carbono posiblemente resulte una fuente, de la misma forma que las zonas agrícolas de temporal y los pastizales inducidos y cultivados (dedicados estos últimos a la ganadería extensiva).

Cuestión aparte, y con mucho menores tasas de captura por su reducida superficie, son las zonas inundables y las manchas urbanas. Las primeras presentan riesgo de emisión debido a su alta dinámica de desecamiento, aunque su alta productividad y sus condiciones de humedad resultan ser sumideros muy significativos, de acuerdo con [Bernal y Mistch \(2012\)](#), quienes señalan que es importante dirigir estudios específicos para cada tipo de humedal, debido a las significativas diferencias de secuestro encontradas en su estudio. El [IPCC \(2006\)](#) señala que en los humedales una porción significativa de materia orgánica en descomposición emite metano a la atmósfera, pero las existencias netas de carbono dependen de la dinámica ambiental y/o de manejo que incidan en esos sitios, pudiendo incrementarse, reducirse o permanecer constantes. Por su parte, en las manchas urbanas el riesgo no es tanto por su dinámica como ecosistema, sino porque las actividades con mayores emisiones de GEI contempladas por el [IPCC \(2006\)](#) se desarrollan principalmente en esos sitios: el sector energía, con una aportación del 95% del CO₂ emitido; los procesos industriales y el uso de productos; así como la generación de desechos.

Respecto a los ecosistemas nativos las coberturas primarias de bosques templados y de selvas capturan mayores cantidades de carbono tanto por su extensión como por las altas tasas reportadas en la literatura. No obstante, dichas tasas deberían ser inferiores que las de sus coberturas en sucesión, de acuerdo con [Pan et al. \(2011\)](#), ya que en su estudio de los bosques mundiales como sumideros de carbono, encontraron que los bosques tropicales en regeneración son más potentes en la fijación, debido a la mayor dinámica de acumulación de biomasa en la fase de sucesión. [Peri et al. \(2010, EN Peri, 2011\)](#) demostraron que estas tasas se deben a la acumulación de carbono en los componentes arbóreos y el suelo del bosque, con el crecimiento de la vegetación, y que esto depende de la estructura del bosque dada por la proporción de la clase de coronas, la edad y la calidad del sitio. Por su parte, [Ortiz y Kanninen \(2000\)](#) coinciden con esto, pues encontraron que el bosque primario con manejo fija anualmente de 2.4 a casi 12 veces menos que el secundario y hasta 43 veces menos que las plantaciones. No obstante, en el presente análisis, no se encontraron estudios específicos para los ecosistemas de la cuenca y sus coberturas secundarias (los citados autores reconocen también la escasez de datos), por lo que, por una parte debieron buscarse datos en diferentes referencias para la primaria y la secundaria; y por otra parte, se asumieron y derivaron algunos valores de otros datos reportados.

IV.2.2.2. Valuación socioeconómica del SSAA

El valor mínimo del carbono total retenido en los ecosistemas de la cuenca es de 2,956.49 millones de euros, estimado para octubre de 2011, con base en el pago de CONAFOR de 16.47 € por tonelada de CO₂ equivalente. Este pago es relativamente

bajo, ya que, de acuerdo con Yee (2010, EN Jerath, 2012), en el mercado mundial, el precio es el reflejo de lo que los clientes están dispuestos a pagar por el almacenaje del carbono que evite los efectos del calentamiento global, por lo que en países como Australia, se impondrá un impuesto de \$87 USD/tonC a los más de 500 productores de contaminación en el país; el Reino Unido, por su parte, otorgó un precio sombra de carbono de £93.51/tC (£25.5/tCO₂, con valor de 2007), de acuerdo con las recomendaciones de *Stern Review* (2007) (Price, et al., 2007 EN Jerath, 2012).

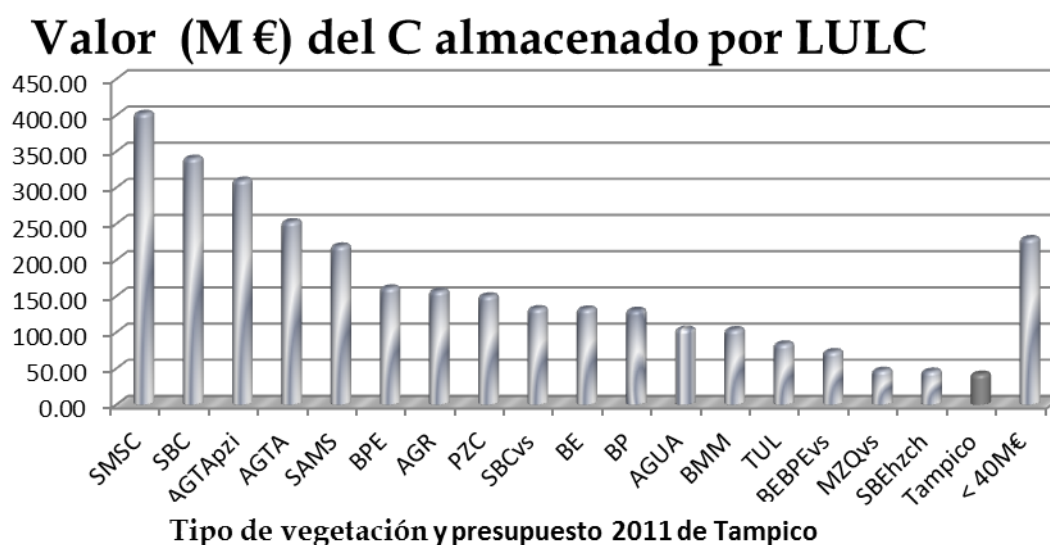
Sin embargo, se usó el valor de CONAFOR como referencia, ya que, como reporta el INE (2005, en http://cambio_climatico.ine.gob.mx/sectprivco/mercado bonos carbono.html) el precio de mercado del carbono es muy fluctuante, pues depende de la oferta/demanda de los bonos de carbono; por ello, algunos organismos (como el Banco Mundial) establecen un precio de referencia para proyectos que ellos financian. Coincidiendo con el INE, *h2tconsultores* (<http://www.h2tconsultores.com/2/post/2012/05/cambio-en-el-precio-de-ton-de-co2-equivalente-por-empresas-espaolas.html>) señala una gran variabilidad en los precios por tonelada de CO₂ equivalente, y que, debido a la crisis económica mundial, las emisiones han bajado y el precio tiende a cero, pues en 2012 se ubica en 7€, habiendo alcanzado 16€ en 2011 y hasta 30€ en “años atrás”; esto contradice a el planteamiento del gobierno asutraliano, de aplicar un incremento de 2.5% anual al precio fijo del carbono (Jerath, 2012). Por su parte, Ortiz y Kanninen (2000) mencionan que (hace más de una década), en la fase piloto del mercado de carbono, Costa Rica recibió \$10 USD/MgC de parte de Noruega como PSA por almacén de carbono. En el otro extremo, Jerath (2012) menciona que el gobierno australiano aplicará en 2012 un precio fijo de carbono, como un impuesto de 87 USD la tonelada, trasladándolo a un esquema de comercio de emisiones para julio de 2015. Estos impuestos van dirigidos a sus 500 mayores productores de contaminación.

El más reciente dato a nivel mundial lo publican Peters-Stanley, et al. (2012), basándose en información proveniente de los mercados de carbono obligatorios (comercio de emisiones) y voluntarios mundiales, así como en encuestas de 2012 de *Ecosystems Marketplace*, obtuvieron un precio promedio de gran mercado de \$9.2USD/tCO₂eq (6.27€) para el año 2011, lo que significa 23.2 €/MgC; señalan que este valor resulta de la agregación de cientos de precios que variaron ampliamente (<1 a >100 USD/tCO₂eq) en ese año, de acuerdo con los estándares del proyecto de mercado, el sitio y otros co-beneficios ambientales y sociales; mencionan que el mercado global aumentó en transacciones con un valor de 37 M de USD en 2005, a 644 en 2011. Incluyeron las actividades de los mercados voluntarios de carbono en varias ciudades del orbe de y programas voluntarios de todo el mundo; capturaron y analizaron un total de 451 proyectos.

En el área de estudio, los ecosistemas que funcionan como un almacén más “estable” evitan que se libere carbono a la atmósfera con un valor que en conjunto alcanza 2,020.75 M€, el 68.35% del total en la cuenca; es decir, la vegetación natural, los cuerpos de agua perennes, los terrenos urbanos y agricultura perenne constituyen los depósitos a largo plazo en el área de estudio, y que valen para la sociedad que ahí habita 11.7 veces más que el presupuesto total asignado a todos sus ayuntamientos en 2011 (172.18 M€, según SecGen-Tam, 2010). Estas comunidades vegetales y usos de suelo son, de acuerdo con (Ortiz y Kanninen, 2000), los de mayor aptitud para PSA por su conservación como almacenes de carbono. Cada uno de ellos supera el mayor

presupuesto destinado en 2011 a un ayuntamiento de la cuenca (Figura IV.2.2-3), que es Tampico, con más de 42 M€ (SecGen-tam, 2010).

Figura IV.2.2-3. Valor mínimo del C almacenado por LULC en la cuenca, comparado con el presupuesto anual 2011 que publicó la SecGen-tam (2010) para el ayuntamiento de Tampico para 2011.



Es necesario señalar que el mencionado municipio de Tampico, en conjunto con Ciudad Madero y Altamira (segundo y tercer lugar en el presupuesto de 2011, respectivamente) forman parte de la zona conurbada que se encuentra a la salida de la cuenca; su cobertura vegetal terrestre es de apenas manchones de SBCvs y relictos de BE, de forma que no contribuyen significativamente a ese depósito; por otra parte, al tratarse de una zona conurbada, es altamente probable que en un balance de carbono resultara el sitio con mayores emisiones de CO_2eq atmosférico en la cuenca (y posiblemente en la región centro-sur de Tamaulipas), aunque, como ya se señaló, dicho balance queda fuera del alcance del presente estudio. No obstante, con la información recabada se hace evidente que, un punto estratégico en las agendas de cambio climático debería ser el **PSA** por parte de los grandes emisores en la **ZCTMA**, para conservar los ecosistemas con depósitos a largo plazo; y por otra, destinar parte de esos pagos a los presupuestos de los ayuntamientos con cobertura vegetal correspondiente a dichos ecosistemas.

El restante 31.65% del valor del almacén de carbono en la cuenca es aportado por los ecosistemas en sucesión, los sistemas agrícolas de temporal, los pastizales, las zonas inundables y las zonas quemadas, donde el carbono se recicla con mayor celeridad (ya sea por su emisión a la atmósfera o su integración a los sistemas tróficos); de estos, las zonas agrícolas de temporal y los pastizales cultivados, con gran cobertura superficial relativa, obtuvieron un alto rango en cuanto a su contribución como LULC, aunque su valor por hectárea no es tan alto. Los valores por LULC del almacén de carbono se muestran en el Cuadro IV.2.2-4.

Cuadro IV.2.2-4. Valor mínimo del carbono almacenado en los LULC de la cuenca en octubre de 2011.

LULC	€/Ha	M€ LULC	LULC	€/Ha	M€ LULC	LULC	€/Ha	M€ LULC
SMSC	4,912	390.75	BE	1,520	126.17	AGTP	2,608	22.93
SBC	2,816	326.33	AGUA	3,264	100.48	PZI	1,792	21.91
AGTA ^{pzi}	2,176	297.36	BMM	3,456	99.73	MDR	352	19.39
AGTA	1,824	241.86	TUL	5,520	81.07	BT	4,192	14.99
SAMS	6,624	212.82	BEBPEvs	2,170	70.53	MZQ1	1,792	13.81
BPE	2,160	155.31	MZQvs	1,056	45.26	QUE	336	10.73
AGR	880	149.02	SBEhzch	720	43.59	PALM	1,296	9.98
PZC	2,240	144.52	DESN	960	36.82	INU	3,472	2.22
SBCvs	1,280	127.60	URBA	1,680	34.62	MAN	8,064	2.07
BP	4,192	126.53	MSM	352	27.94	RIPA	464	0.15

Nota: Los datos en *italicas* representan los ecosistemas con almacenes de carbono menos estables.

Dentro de los depósitos a largo plazo, los ecosistemas con mayor valor por este SSAA resultaron ser las selvas subhúmedas y los bosques templados, debido tanto a su extensión superficial como a su alta capacidad de almacenamiento de carbono. La agricultura anual, así como los terrenos de esta clase con algún nivel de abandono fueron los que tienen el mayor valor por su almacén dentro de los depósitos menos estables.

Por otra parte, y en relación directa con su capacidad de almacenamiento, los manglares son el LULC con mayor valor por unidad de superficie, alcanzando por este SSAA 8,064 euros por hectárea; este monto resulta bastante inferior respecto los estimados por [Jerath \(2012\)](#) para el manglar en Florida, en 50 mil y 614 mil **USD** de 2010 por hectárea, de acuerdo con el precio de mercado y el costo social del carbono. Las selvas altas y medianas, así como el tular obtuvieron respectivamente 6,624 y 4,912 €/ha; cifra que casi duplica los 2,863 €/ha estimados por [Bezaury \(2009\)](#), cuyos datos se actualizaron a 2011 con motivos de comparación), para la selva perennifolia y los 2,648 para la vegetación acuática y subacuática; en referencia a los bosques de coníferas, el autor citado estimó 2,413€/ha, poco menos de la mitad del resultado para BP o el BT; de la misma forma resultó la valuación de la SBC, que también duplicó los 1,446€/ha reportados por [Bezaury \(2009\)](#), aunque también incluye con ese valor a los bosques espinosos, representados en la cuenca por el MZQ1 y la SBEhzch y subestimados en este trabajo respecto a tal autor. También sobre estima el valor por hectárea del BMM (4,037€), del BE (2,216€) y de los matorrales xerófilos y vegetación semiárida (751€), representados en la cuenca por el MDR y el MSM.

Por otro lado, y ya en 1995, el Gobierno de México y el Banco Mundial señalaban que los costos (para la comunidad internacional y el país) de la pérdida de cobertura boscosa y la consiguiente liberación de carbono almacenado, van de 693 a 3,436 **USD** (de 1995); estos montos superaron el valor por hectárea de la agricultura en terrenos marginales (tomando en cuenta la conversión de bosque a pastizal permanente) ([GMX y BM, 1995](#)), por lo que, según [Bezaury \(2009\)](#), el almacenaje de carbono tendría posibilidades de ser más competitivo que algunos cultivos en México. Esto coincide con los resultados obtenidos para la cuenca, por lo que, de forma similar a [Bezaury \(2009\)](#), se comparó el precio de algunos cultivos con la valoración del carbono almacenado en los LULC Cuadro IV.2.2-5; dicho autor usó el precio promedio de la tonelada de CO₂eq,

que fue negociado dentro del marco de Mecanismo de Desarrollo Limpio propuesto en el Protocolo de Kyoto entre los años 2005 a 2007; en este trabajo, como ya se mencionó, se utilizó el PSA del programa Proárbol de CONAFOR, lo cual resulta en una valoración de los precios por hectárea de los LULC menor que la de algunas hortalizas, debido a su alta rentabilidad comercial. Aunque, es necesario mencionar que el valor de su producción total reportada para el estado de Tamaulipas es menor a la mayoría de los LULC de la cuenca, ya que el chile verde (de mayor rentabilidad) alcanzó 14.9 M €, superando sólo a los seis LULC con menor valoración en la cuenca.

Cuadro IV.2.2-5. Valores de producción en algunos cultivos de la cuenca, ordenados de mayor a menor según su precio por hectárea para 2011. Para comparación, se intercala el valor por hectárea de los LULC del área de estudio, señalando en un renglón intermedio los LULC que quedan entre rangos de valores.

Cultivo	LULC	Producción o almacén Ton/ha	Precio €/Ton	Precio €/ha
Pimiento verde (chile morrón)		33.46	459.41	15,373.31
Chile verde		35.82	344.74	12,348.21
Cebolla		36.27	323.87	11,746.48
Jitomate		30.52	373.72	11,405.80
Tomatillo verde		25.87	352.71	9,125.69
	MAN	505.4	16.47	8,326.85
	SAMS, TUL, SMSC, BP, BT, INU, BMM, AGUA			
	SBC	178.3	16.47	2,937.63
Caña de azúcar		68.67	40.51	2,781.69
	AGTP	165.43	16.47	2,725.59
	PZC, AGTA _{pzi} , BPE, BEBPE _{vs} , PZI, AGTA, MZQ ₁ , URBA			
	BE	96.92	16.47	1,591.89
Arroz		6.00	254.62	1,527.73
	PALM	87.27	16.47	1,355.46
	SBC _{vs} , MZQ _{vs} , DESN			
	AGR	52.25	16.47	926.76
Naranja		5.68	165.74	940.64
Sorgo verde		5.48	141.35	775.08
	SBE _{hzch}	46.34	16.47	763.49
	RIPA, MSM, MDR			
	QUE	22.00	16.47	362.47
Frijol		0.66	535.13	355.54
Sorgo		2.54	125.59	318.96
Soya		0.93	329.20	305.58
Maíz		1.49	153.20	228.59

Fuente: elaboración propia, con datos de OEIDRUS (2011); excepto para arroz, naranja y caña de azúcar: www.siap.gob.mx.

Para el caso particular de la AGR, la producción del SSAA por hectárea (25.25 tn/ha) es menor que el rendimiento de la caña de azúcar obtenida en ese sistema (68.67 tn/ha); también es mayor su precio por tonelada, por lo que se obtiene un precio más competitivo por unidad de superficie que el SSAA. Caso contrario sucede al comparar los otros sistemas agrícolas, confirmando la tendencia encontrada por Bezaury (2009), acerca de que el terreno presenta mayor rendimiento por el carbono almacenado que por la venta de los productos obtenidos: en el caso de la AGTA es de 1,906.4 euros por

hectárea contra 318.9 € de la de sorgo; en caso de la AGTP, 2,725.59€/ha, comparados con los 940.6€/ha del cultivo de naranja.

Además de la estimación del valor socioeconómico del *stock* de carbono en la cuenca, se obtuvo el del que fijan anualmente sus diferentes LULC, como se muestra en el Cuadro IV.2.2-6. El monto total es de 74,073.6 € anuales, con un valor promedio de 48.8 €/Ha. Cabe mencionar que estos montos son una subestimación de lo que puede ser una cantidad más cercana a la realidad, ya que se usó el mismo precio para la tonelada almacenada que para la secuestrada; sin embargo, [Ortiz y Kanninen \(2000\)](#) utilizaron el máximo costo marginal social (en USD/MgC) estimado para la mitigación de CO₂, que resulta ser 15.4 veces mayor que el monto por MgC que utilizaron para el almacén.

Cuadro IV.2.2-5. Valor socioeconómico mínimo por la fijación bruta de carbono en los LULC del área de estudio, en el año 2011.

LULC	Valor €/ha año	Valor LULC (€/año)	LULC	Valor €/ha año	Valor LULC (€/año)	LULC	Valor €/ha año	Valor LULC (€/año)
AGR	69.20	11'718,054.13	BMM	82.38	2',377,239.66	MDR	13.18	725,893.02
BE	96.55	8'013,983.08	AGTA	16.48	2'184,734.08	TUL	43.50	638,835.15
SBC	64.26	7'446,352.91	MSM	17.79	1'412,440.69	PZI	41.19	447,735.30
SMSC	90.62	7'208,661.90	MZQvs	31.96	1'369,953.04	MZQ1	31.96	246,374.20
BPE	96.55	6'942,285.18	QUE	41.19	1'315,279.08	BT	25.54	91,323.17
PZC	64.26	4'145,630.16	SBEhzch	17.79	1'077,378.16	INU	29.66	18,950.70
AGTApzi	27.19	3'714,966.47	PALM	131.64	1'013,389.66	URBA	0.43	8,827.12
SBCvs	32.95	3'284,984.88	AGUA	29.66	912,984.59	RIPA	24.71	8,007.34
SAMS	97.21	3'123,111.48	BEBPEvs	27.35	893,037.42	MAN	29.66	7,621.80
BP	96.55	2'914,245.88	AGTP	92.27	811,291.42	DESN	0	0

Proporcionalmente a su superficie y a la cantidad de carbono secuestrado, el LULC con mayor valor por este SSAA es la agricultura de riego, con casi 11.72 M€, poco más de la novena parte del valor del cultivo en Tamaulipas reportado por el SIAP (www.siap.gob.mx) para ese año; pero si el valor fuera más cercano a la relación secuestro/almacén de [Ortiz y Kanninen \(2000\)](#), entonces este SSAA sería 1.6 veces mayor en los terrenos agrícolas de riego de lo que se obtiene con su producción de caña de azúcar.

En segundo lugar, destacan los bosques de encino, con 8.01 M€, así como las selvas subhúmedas, que a pesar de su diferencia en superficie, obtienen montos similares de 7.4 para la SBC (más extensa) y 7.2 para la SMSC. Otros LULC que destacan entre los 10 de mayor contribución al valor de este SSAA en la cuenca son los bosques de pino y los de carácter mixto (BPE), así como las SBCvs y la SAMS. Los pastizales cultivados y los terrenos agrícolas en abandono también destacan dentro de los diez primeros sitios.

Finalmente, es necesario citar una nota acerca del impacto económico en los ecosistemas por el cambio climático causado por las emisiones de GEI, que es a donde deberán enfocarse las estrategias para el uso y manejo sustentable de este SSAA. El [CICC \(2009\)](#) señala que uno de los efectos del cambio climático es el agravamiento de los incendios forestales, y calcula su costo en “poco más de 20 mil pesos por hectárea” a 2004; esto significa alrededor de 1,613.5€ a valor actual (octubre 2011), que incluye solamente los costos del combate al incendio y el “valor del recurso perdido”, pero no las pérdidas de

SSAA, ni los impactos inmediatos o futuros sobre las actividades agropecuarias, ni los costos directos o indirectos sobre las localidades, ni las lesiones y decesos causados. Este valor es superior al del almacén de carbono en una hectárea de bosque de encino; si se multiplica por la superficie consumida por los incendios en 2011 (15,920 ha, hasta junio de ese año, según menciona CONAFOR, en prensa, http://www.milenio.com/cdb/doc/impreso/8982415?quicktabs_1=1) alcanza 25.7 M€, que es superior al de los cinco LULC con menor valor, y que son almacenes durables en la cuenca.

IV.2.3. -Aporte de agua como indicador de disponibilidad para su consumo doméstico

El acceso adecuado –en cantidad y calidad– al agua es un tema que claramente contribuye al logro de los objetivos de desarrollo sustentable de la EEM (2005); aunque el recurso hídrico es esencial para alcanzar dichos objetivos, este hecho ha sido subestimado por largo tiempo (WWAP, 2009). Por su parte, los ecosistemas juegan un rol determinante en la cantidad y la calidad del agua producida, en su disponibilidad para su funcionamiento y su consumo, y en el comportamiento de sequías e inundaciones; sin embargo ese rol ecosistémico tampoco se ha tomado en cuenta y se ha infravalorado incluso hasta que las aportaciones del ecosistema se han agotado (EuC, 2008).

Los especialistas en temas hidrológicos y de ecología han tenido conocimiento de todo ello; sin embargo, raramente se encargan de tomar decisiones acerca del desarrollo sustentable, o de la distribución de recursos financieros. Por otra parte, su perspectiva de manejo suele ser sectorizada, por lo que muchas veces pueden ofrecer opciones erróneas en cuanto al manejo del recurso agua (WWAP, 2009).

Un ejemplo de esto es que, ante las nuevas reformas en el país respecto al derecho constitucional de acceso garantizado al agua, la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México se reunió a fines de 2012 (ANEAS) para analizar las implicaciones de dicha reforma. Ya desde el planteamiento de dicha reunión, reconocen que este nuevo derecho es un reto de alta dificultad, debido a

“la concepción errónea de lo que significa [este nuevo derecho, ya que]: el servicio público de agua potable, drenaje, alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales tiene un costo. Las reformas estructurales que se requieren para hacer efectivo éste, son cambiar la inercia de rechazo social al incremento de tarifas para pagar un precio real o al menos cercano a lo que cuesta realmente” (ANEAS, 2012).

Puede observarse que hablan de los costos del servicio público, pero en ningún momento consideran el costo de producción por parte del ecosistema. Y por supuesto, los comentarios de esta asociación deben tomarse con reserva, ya que es un grupo de carácter privado, que en un momento dado podría tomar ventajas o desalentar estrategias de conservación de los SSAA hidrológicos. Sin embargo, contemplan la idea de pagar un precio más cercano al valor real.

El régimen hidrológico es la forma en que el agua es liberada a los ecosistemas de una cuenca, y se encuentra determinado por sus propiedades biofísicas, que cuentan con una variedad estacional definida. Dicha variabilidad produce los servicios hidrológicos de los ecosistemas, donde destacan la regulación del ciclo del agua, la recarga de

acuíferos, el mantenimiento de la calidad del agua y su rendimiento hídrico (Céleri, 2009); éste último es la provisión o aporte de agua por parte de los ecosistemas, o el *Water Yield* del modelo de InVEST 1.005, cuya traducción en diferentes países puede ser como rendimiento hídrico (Perú), volumen de escurrimiento superficial o por cuenca propia (México, Costa Rica), aporte, producción, provisión o generación de agua en otros países.

En México estos términos se utilizan para cuestiones de manejo hidráulico, y no tanto desde el punto de vista del concepto de SSAA. Torres y Guevara (2002) refieren que en diversos programas federales se ha venido usando “desempeño hidráulico o captura de agua”, que es el servicio producido por zonas arboladas cuando permiten que se infiltre suficiente agua de lluvia para alimentar los mantos acuíferos “y la prolongación del ciclo hidráulico”; aún estos términos podrían confundirse con cuestiones de hidráulica, por lo que en este trabajo se decidió utilizar “Aporte de agua”, que lleva implícita una connotación de servicio para el abastecimiento del agua consumida a nivel doméstico.

Por lo tanto, el presente modelo se generó con la finalidad de conocer la cantidad de agua que es producida en el área de estudio y su distribución espacial, ya que, según analizan De Groot, *et al.* (2002), las variaciones en este SSAA llegan a afectar las actividades humanas que se relacionan a su uso consuntivo y a la producción de bienes como el agua potable; si dichos usos se transmiten a la sociedad utilizando un sistema de valoración monetaria (establecimiento de precios de los bienes), dichas fluctuaciones afectarán el bienestar de los habitantes en el área de estudio.

IV.2.3.1. Descripción biofísica del SSAA

Como primer resultado del cálculo de los SSAA de producción de agua, el modelador calculó la evapotranspiración real (**ET_{real}**), a partir del mapa de **ETP** procesado con el coeficiente de Evapotranspiración para cada clase del mapa de LULC, y como función del índice de sequía de Budyko (que es un proceso intermedio del análisis, calculado a partir de la relación **ET** y Precipitación, y el coeficiente de **ET**) y del **PAWC**. Esto arroja un mapa *grid* (Figura IV.2.3-1) con la parte de la precipitación que es evapotranspirada por cada LULC. Aunque en este trabajo no se necesitaba estimar los valores directos de cada factor, es interesante mencionar que la **FAO (2000)** señala que, debido a las condiciones del territorio mexicano, en la segunda mitad del siglo XX se evaporaba casi el 73% del volumen de precipitación, a través de **ETP** o directamente de los cuerpos de agua.

El mapa revela de forma clara las zonas con menores densidades de arbolado, tal como las áreas urbanas, las superficies quemadas y las áreas clasificadas como suelo desnudo; estas son las clases cuya **ET_{real}** es menor al 1%, resultado de la nulidad en la profundidad de raíces y el mínimo factor de **ETP**; esto ocurre en el 6.14% del área de estudio. De acuerdo con Porras (2003), el efecto de la cobertura vegetal sobre el flujo de agua en el sistema de la cuenca tiende a ser negativo, ya que las zonas arboladas tienen una mayor **ETP** que las áreas con vegetación más corta.

La AGR ubicada en las zonas de Ocampo y Gómez Farías, con mayor cantidades de precipitación y **ETP**, obtuvieron rangos menores al 40% de la fracción; en estos sitios, de

acuerdo con [Allen, et al. \(1998\)](#), existe un menor grado de sombra sobre el suelo, por lo que se presenta una mayor evaporación que de **ET**; dichas condiciones se presentan en casi 2% de la cuenca. Por otra parte, en 19.7% del área la cuenca baja se ubican zonas agrícolas de, donde la fracción de la **ET_{real}** alcanza valores de 50% o menos.

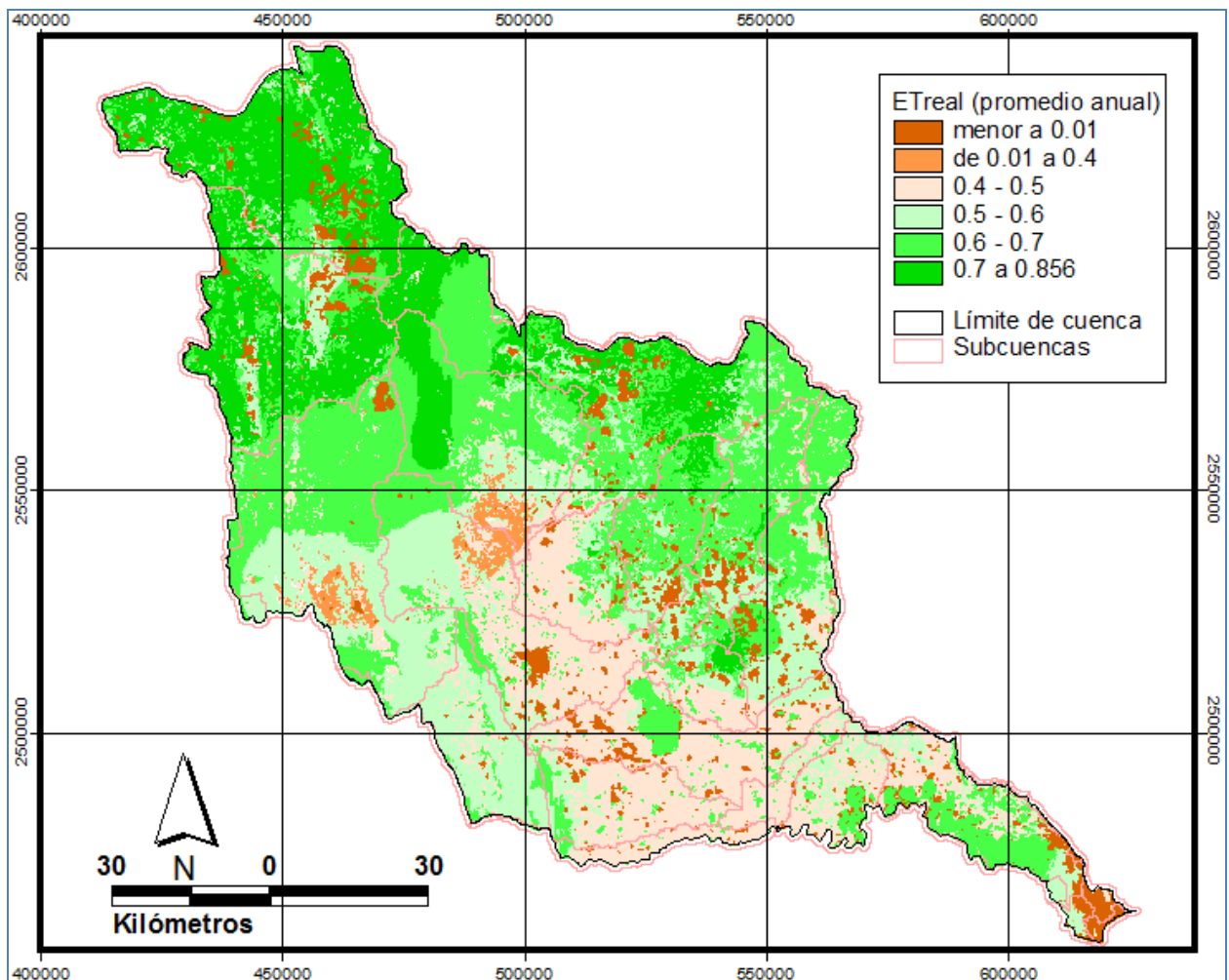


Figura IV.2.3-1. Modelo de evapotranspiración real promedio anual (en mm), dada como la fracción de la precipitación que es evapotranspirada por los diferentes LULC.

Las selvas bajas y medianas de las porciones más bajas de la Sierra Madre, presentan valores del rango de 50 a 60% de la fracción, en cerca de 20.6% de la cuenca; mientras que los humedales así como selvas medianas y bosques de las zonas más húmedas y altas de la cuenca se encuentran entre los 60 y 70% de la **ET_{real}**. Todos estos ecosistemas cuentan además con una mayor capacidad de retención de agua en el suelo, generalmente conformado por Litosoles y Feozems. Estas características se conjuntan en gran parte de la cuenca (casi el 53.1% de la superficie); ahí, la **ET_{real}** del ecosistema se encuentra cerca del equilibrio y el suelo cuenta con una buena capacidad de retención, por lo que las condiciones son más propicias para una mayor aportación de agua y capacidad de regular su ciclo. [Céleri \(2009\)](#) menciona que, así como los otros SSAA hidrológicos, la aportación de agua a la cuenca depende en gran parte de la regulación de su ciclo; cuando los ecosistemas cuentan con una mayor capacidad regulatoria, proporcionan un equilibrio en los caudales de épocas lluviosas y secas, almacenando agua durante las primeras y liberándola lentamente en las segundas.

Los rangos superiores (mayores de 70%) son alcanzados por los ecosistemas con alta cobertura arbórea de coníferas, así como matorrales submontanos. Se ubican en zonas

de menor humedad, y gran parte con pendientes pronunciadas y altitud significativa; dichas condiciones se presentan en poco más del 19.2% del territorio de la cuenca. Esto coincide con lo mencionado por [Porras \(2003\)](#), quien indica que, dependiendo de las condiciones del ecosistema, algunas zonas arboladas como las mencionadas, pierden grandes cantidades de agua por medio de evapotranspiración, contradiciendo la “percepción generalizada” de que los bosques son altos productores de agua.

El modelador procesa el mapa de **ETreal** relacionándolo con el de precipitación y con la unidad de superficie, a través del cálculo del índice de sequía de Budyko. De dicho proceso, se obtiene el *grid* del aporte anual aproximado de agua por parte de los ecosistemas de la cuenca, que en conjunto suma 5,770.93 millones de metros cúbicos para el año 2011; esta cantidad es casi 10.3% superior a la disponibilidad media anual de agua superficial reportada para 2009 por la [CONAGUA \(2011a\)](#). Por eso, para realizar la evaluación socioeconómica de este SSAA fue preciso realizar el ajuste del *grid* estableciéndolo como el valor teórico y la aproximación al reporte de **CONAGUA** como el valor real. La distribución espacial de este SSAA se observa en la Figura IV.2.3-2.

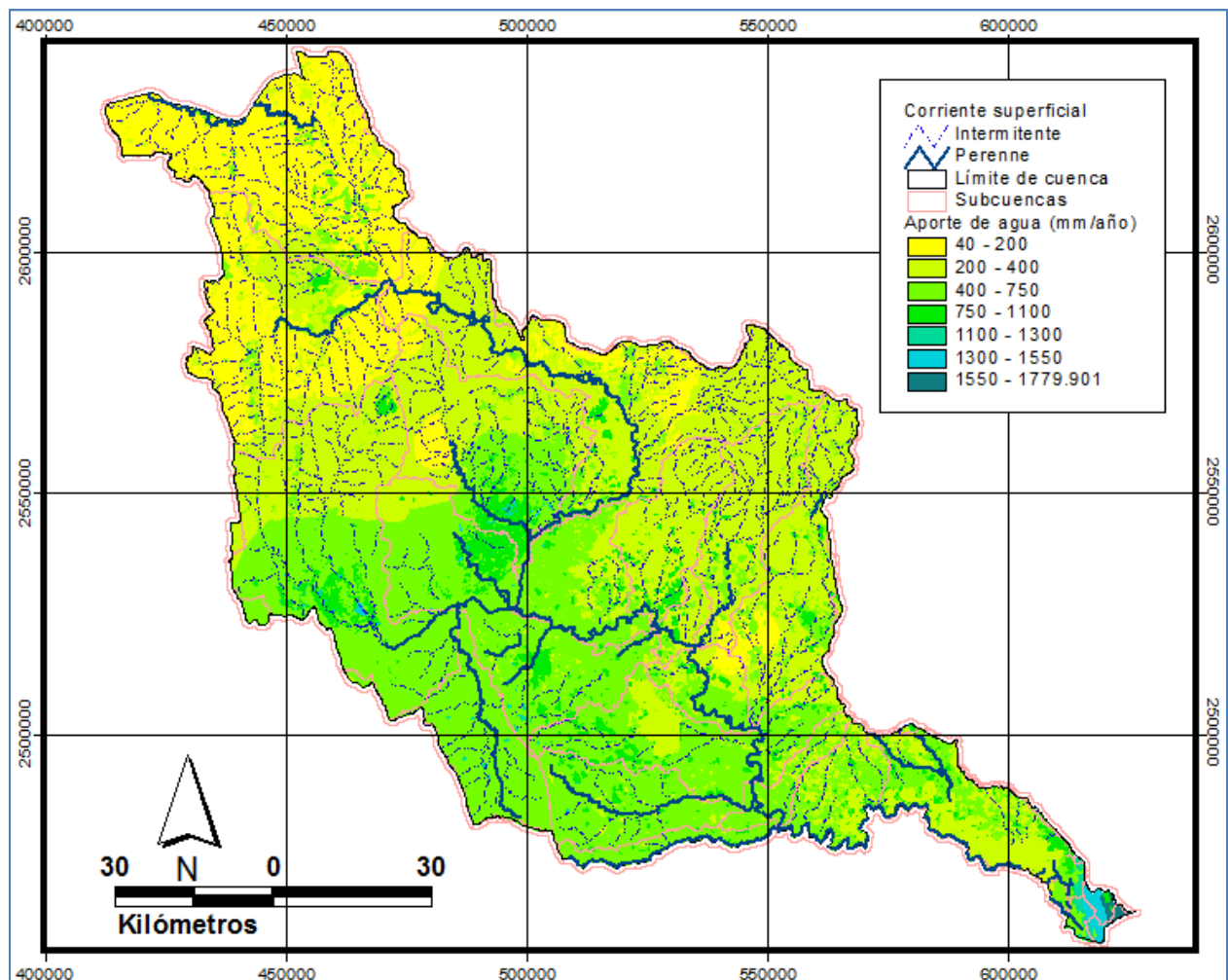


Figura IV.2.3-2. SSAA del aporte de agua (promedio anual en mm) por los ecosistemas de la cuenca.

El mapa revela que las zonas de mayor aportación se distribuyen en la porción centro-sur de la cuenca, con los mayores niveles en la zona de Tampico, ubicado en el extremo sureste. Además, delinea claramente el efecto barrera (conocido como efecto Foehn) que ejercen las primeras estribaciones de la Sierra Madre sobre el Altiplano tamaulipeco y sus alrededores: la mayor parte de la humedad es retenida y sólo permite una baja

precipitación hacia el noroeste del área de estudio; esto, aunado a las características de sus suelos, pendiente y cobertura vegetal, hacen que el Altiplano y las altas montañas de la cuenca cuenten con los menores rangos de este SSAA (Figura IV.2.3-3).

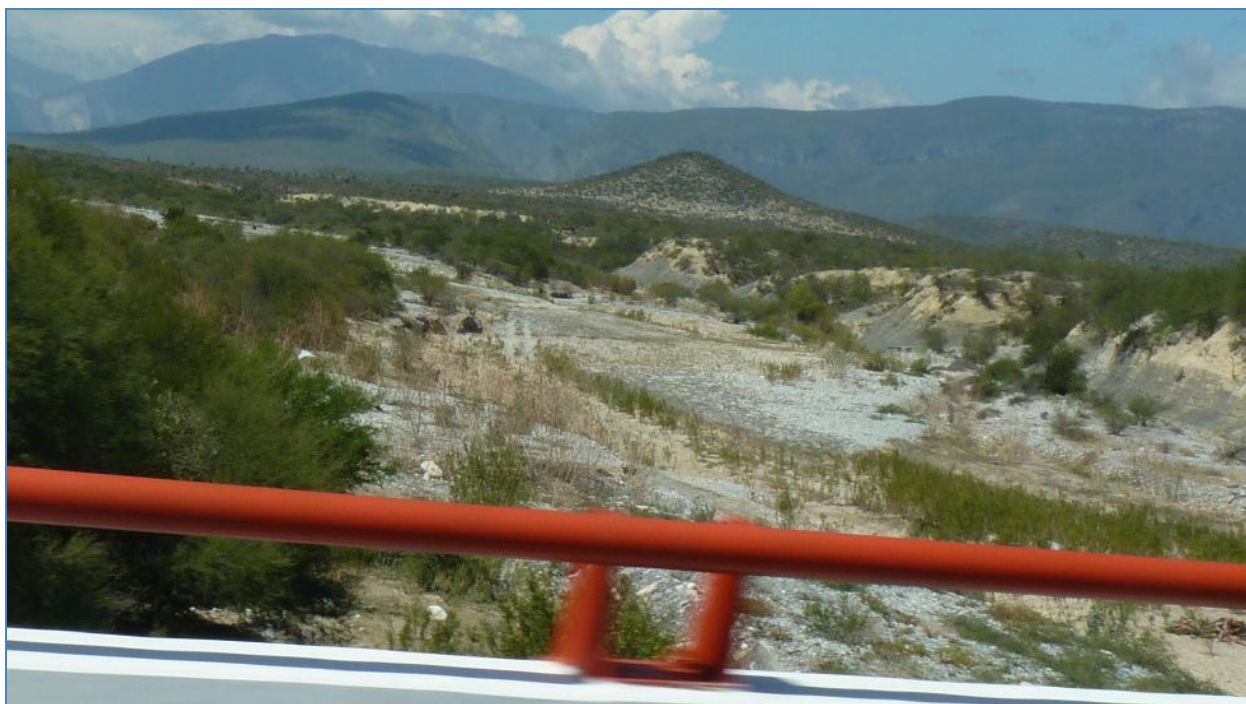


Figura IV.2.3-3.-Vista del Río Chihue, situado en el Valle de Jaumave a una altitud de 650 msnm. Al fondo a la izquierda se observa el cerro de Las Mesas de Juárez, que alcanza 2,780 msnm en el parteaguas de la cuenca.

Este resultado contradice lo referido por Black (1996 EN Garrido, *et al.*, 2010), quien afirma que en las porciones de mayor altitud de una cuenca ocurre gran infiltración de agua que alimenta los flujos subterráneos, al tiempo que genera las corrientes que van formando los ríos y otros cuerpos de agua superficiales; por el contrario, en el área de estudio, ocurre que las mayores elevaciones presentan mayor ETreal, debido a que los bosques de coníferas impactan de forma negativa los recursos hídricos (Oyarzún, *et al.*, 2005) por lo que las principales fuentes se encuentran en ambas vertientes de las serranías centrales (de menor altitud), las que dan origen a las corrientes permanentes de mayor importancia en la cuenca, como puede observarse en la Figura anterior.

El Cuadro IV.2.3-1 expone la contribución de cada rango al aporte total de agua en la cuenca, donde es evidente que los pixeles que clasifican de 400 a 750 mm/año son los que mayor aportación (prácticamente la mitad) suman al total del área de estudio. Dentro de esa zona se distribuye la mayor proporción de los ríos perennes, con vegetación de bosques y selvas, húmedos y subhúmedos.

Cuadro IV.2.3-1. Porcentaje por rangos de aportación de agua por los ecosistemas de la cuenca.

Rango de aportación (mm/año)	% de la aportación total	Rango de aportación (mm/año)	% de la aportación total
40-200	6.63	1100-1300	1.07
200-400	29.01	1300-1550	1.15
400-750	49.77	1550-1779.901	0.50
750-1100	11.88		

Dentro de los rangos de mayor aportación a la cuenca, se encuentran ubicadas las mayores masas forestales de selvas húmedas y subhúmedas, bosques de encino y

bosques húmedos de montaña. Dentro de estos ecosistemas, este último es considerado como un importante productor de agua, debido a que, además de la aportación pluvial, existe una importante participación de nubes y neblina (Oyarzún, *et al.*, 2005), que produce el efecto de “precipitación horizontal” (Porrás, 2003). En la cuenca, el efecto de este bosque y las selvas húmedas/subhúmedas se hace notable en forma de una mayor concentración de manantiales que brotan en la base de las montañas, y forman la red de ríos en las partes media y baja de la cuenca (Figura IV.2.3-4). Por lo tanto, la remoción de la capa vegetal en estos ecosistemas puede causar un efecto negativo importante sobre el recurso agua en la región. Tal efecto debe estudiarse con mayor detalle en el área de estudio, ya que la consecuencia final de la deforestación en ecosistemas húmedos ha sido poco analizada (Porrás, 2003); sin embargo, existe la referencia de una pérdida equivalente a un mes de lluvia por conversión del bosque nuboso a praderas (en Venezuela), debido a la pérdida de captura de agua por precipitación horizontal (Ataroff y Rada, 2000, EN Oyarzún, *et al.*, 2005).

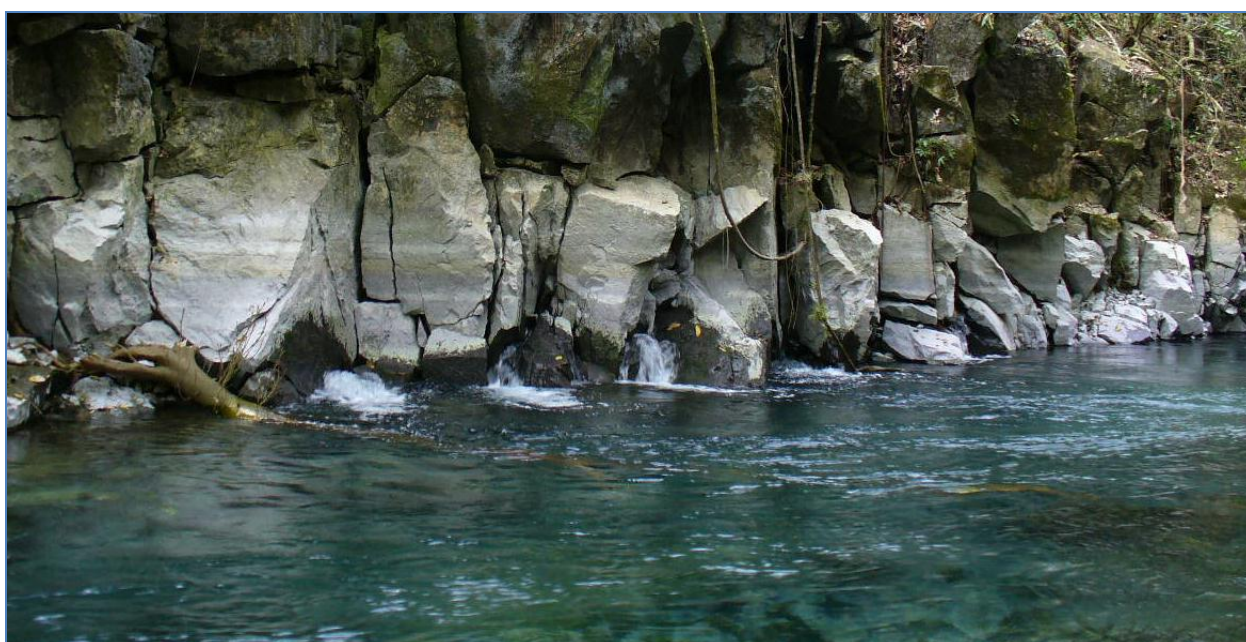


Figura IV.2.3-4. Manantiales del Río Frío, en “La Bocatoma”, ubicada en la base oriental de la Sierra de Gómez Farías, dentro de la Reserva de la Biósfera El Cielo.

Por otro lado, los resultados muestran que ciertas partes con los mayores valores corresponden a algunos LULC con altos niveles de degradación, como zonas quemadas y áreas urbanas (Cuadro IV.2.3-2). De acuerdo con Lozano (2011), este resultado aparentemente contradictorio se debe a que la información procesada en el modelo nivel 1 del InVEST es de carácter anual; de esta forma, áreas con menores coberturas vegetales carentes de raíces que absorben grandes cantidades de agua o de estructuras que evapotranspiran, van a exportar más agua en un periodo anual que un bosque. El beneficio de la vegetación no es tanto el rendimiento hídrico, sino su regulación, la cual depende directamente de una adecuada cobertura vegetal que mantenga el equilibrio en la oferta del recurso durante el estiaje, al tiempo que evita la erosión, inundaciones y desbordamiento de afluentes en los periodos lluviosos.

Cuadro IV.2.3-2. Aporte de agua promedio, máximo, mínimo por hectárea (en m³) y el aporte total (en millones de metros cúbicos) de cada LULC.

LULC	Promedio	Máx	Mín	Total	LULC	Promedio	Máx	Mín	Total
URBA	1,146.61	1,682.69	462.98	23.39	SBCvs	378.17	835.39	62.86	35.73
INU	882.66	1,129.67	784.67	0.56	TUL	367.50	891.38	240.83	5.17
QUE	754.99	1,779.90	290.17	24.20	SBEhzch	394.79	958.26	132.07	20.99
DESN	739.58	1,635.82	357.14	28.17	MZQvs	360.33	993.52	112.33	13.95
AGR	567.80	1,102.45	128.59	86.41	AGTP	353.27	853.84	192.69	2.82
PALM	507.78	688.00	282.58	3.86	BE	325.50	669.98	58.58	24.91
MAN	477.72	530.00	294.76	0.12	BMM	311.92	552.34	133.35	8.51
PZI	485.85	1,375.96	125.98	5.01	MZQ1	292.32	856.10	106.31	2.18
AGTApzi	489.01	1,200.41	78.37	62.71	BEBPEvs	218.15	672.97	42.45	6.71
RIPA	450.53	730.12	312.21	0.15	MSM	225.62	544.82	58.60	15.83
AGTA	431.99	1,174.19	79.75	55.44	BPE	217.09	412.08	42.20	14.24
SMSC	405.24	690.19	103.39	32.05	MDR	190.77	409.15	55.30	9.36
PZC	435.48	1,022.95	129.95	25.87	BT	156.01	191.97	122.36	0.56
SBC	392.37	767.49	90.92	42.39	BP	149.83	357.82	43.79	4.22
SAMS	381.49	678.78	104.81	11.67	TOTALES	428.43	1,779.90	42.20	577.09

En el Cuadro anterior también se observa que los matorrales secos y los bosques de coníferas son los que cuentan con las menores aportaciones promedio de agua; resultado que coincide con [Oyarzún, et al. \(2005\)](#) en cuanto a que estos tipos de vegetación suelen tener efectos negativos en el aporte de agua. Resultado similar al obtenido por [Torres y Guevara \(2002\)](#), quienes estimaron que los bosques de Tamaulipas capturan 179m³/Ha en promedio; sin embargo, sus estimaciones para las selvas estatales son mucho mayores que para los LULC selváticos de este trabajo, ya que los máximos apenas alcanzan 958 m³/Ha (en la SBEhzch), mientras que la estimación de [Torres y Guevara \(2002\)](#) es de 1,012 m³/Ha. En Guatemala ([Hernández et al., 2002](#)) señalan que su área de estudio el “efecto esponja” permite una alta productividad hídrica de 8,576 m³/ha, con una vegetación conformada por bosque mixto, “bosque tropical frondoso”, bosque de latifoliadas y “bosque enano”; aclaran que, aunque su modelo hidrológico parte de un balance hídrico, las interacciones del agua subterránea y el almacenamiento en el suelo no produjeron los resultados adecuados.

Llegado este punto, es necesario señalar que, en este trabajo no se contó con información suficiente para continuar con la evaluación de la capacidad regulatoria del ecosistema; por ello no se llegó a obtener la disponibilidad de agua real para consumo humano. Sin embargo, de acuerdo con [Mendoza, et al. \(2011\)](#) el modelo es útil en escala de cuenca, aún en sitios donde existen fuertes interacciones de los aportes superficiales y los subterráneos; ya que según Milly (1994, [en Mendoza, et al., 2011](#)) describe la forma en que el índice de sequía de Budyko y la fracción de agua disponible en el suelo para las plantas afectan el balance hídrico anual; no obstante, la limitación de este proceso es que no incorpora explícitamente factores que influyen sobre dicho balance, como el impacto de la frecuencia de eventos anuales, la variabilidad espacial de la capacidad de almacén de agua dentro de un pixel, o la sincronidad de los ciclos de energía-precipitación en el balance hídrico, entre otros. Esto coincide con los resultados de, [Sánchez, et al. \(2008\)](#), quienes encontraron que en la cuenca el escurrimiento medio

anual presenta “gran variabilidad en tiempo y espacio”, por lo que, en época de estiaje el aprovechamiento del recurso en las zonas agrícolas es mayor que la disponibilidad natural de agua.

Por su parte, [Tognetti, et al. \(2004\)](#) refiere que, además de los factores mencionados, la incertidumbre en los sistemas naturales aumenta debido al “pobre entendimiento” de las relaciones del paisaje, el uso del suelo y su hidrología, así como al desarrollo de las actividades humanas que dependen de las condiciones socioeconómicas de la región en estudio. [Porrás \(2003\)](#) señala que esa falta de bases científicas robustas es un fuerte limitante para la viabilidad de los mercados de SSAA, debido a que no es posible garantizar que exista una producción efectiva de los mismos. Dichos mercados buscan obtener recursos financieros para proteger las cuencas, aunque en México existe desde 1940 una declaratoria para su protección: el “Acuerdo que declara Zonas Protectoras Forestales los terrenos cubiertos de arbolado, situados en las Cuencas Hidrográficas de los Sistemas Nacionales de Riego en construcción y proyecto”, publicado por la [SAF \(1940\)](#); en tal documento se instruye la protección de la Sierra de Cucharas, ya que origina el Río Mante, fuente del Distrito de Riego No. 2 (Figura IV.2.3-5).



Figura IV.2.3-5. Manantial “El Nacimiento” del río Mante. Al fondo se observa la Sierra de Cucharas, y en el centro de la foto, “la cueva”, donde “nace” el río.

A pesar de las limitaciones expuestas, es posible observar que el modelo presenta cierto grado de coherencia respecto a la distribución espacial del escurrimiento medio anual, dado por el balance hídrico elaborado por [Hori \(2005\)](#), cuyo mapa se encuentra en la Figura IV.2.3-6. En este mapa es notable que la tendencia de disponibilidad hídrica en las distintas regiones de la cuenca es similar al de aporte de agua resultado del presente trabajo: por un lado, las mayores valores se concentran en la porción centro-suroeste, sobre las partes más húmedas de la Sierra Madre, así como un pequeño pico ubicado en la zona de Tampico (en el extremo oriente de la cuenca); y por otro, las porciones con menor disponibilidad se presentan en la porción noroeste, sobre el Valle de Jaumave y las zonas montañosas de mayor altitud.

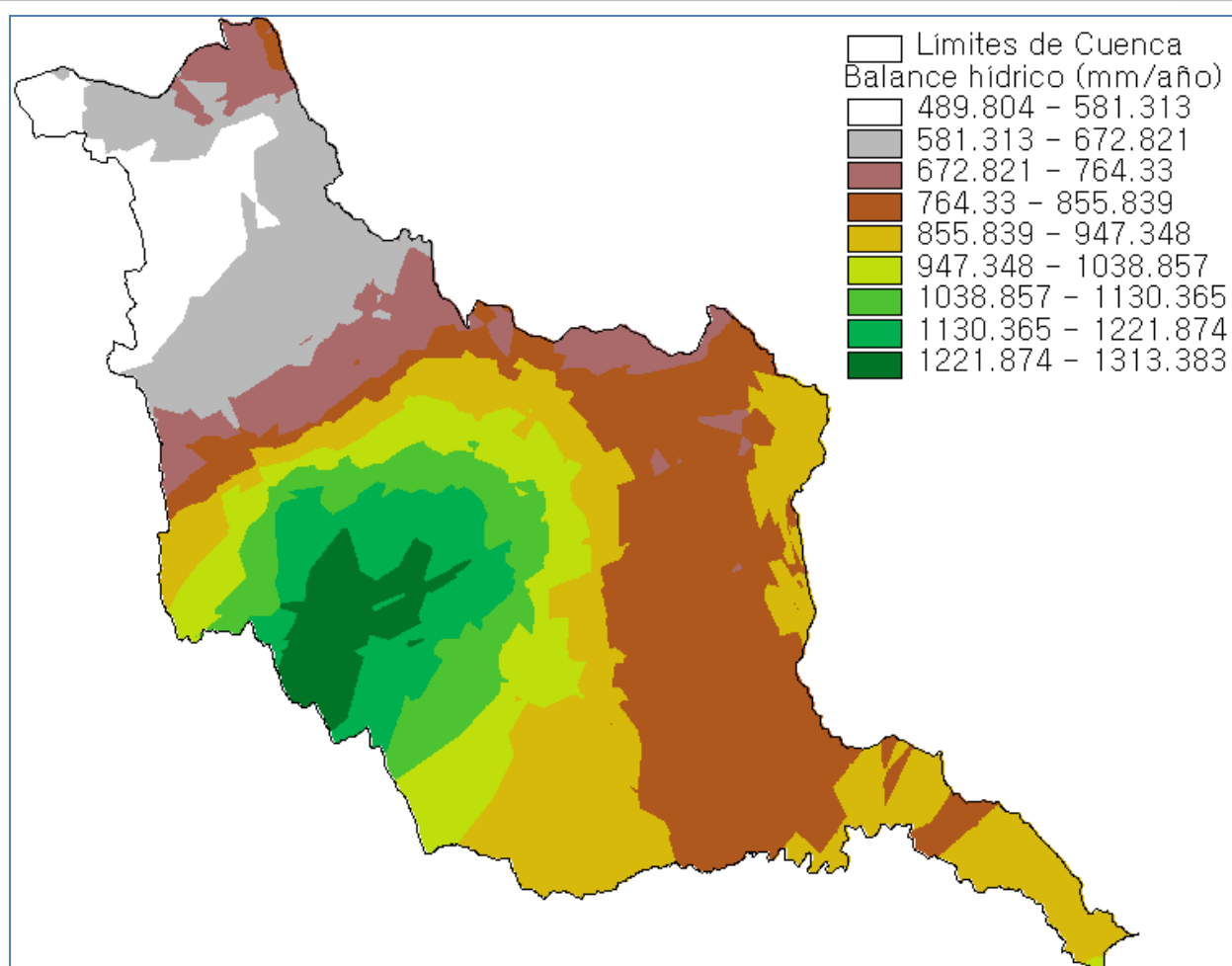


Figura IV.2.3-6. Modelo del balance hídrico anual elaborado por cortesía de [Hori, C. \(2005\)](#) para la cuenca.

Por otra parte, un grupo de investigadores que analizó la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca fueron [Sánchez, et al. \(2008\)](#); ellos utilizaron series de datos de 1969 al 2000 para analizar las tendencias de disponibilidad ante diferentes escenarios de cambio climático. Aunque no reportan la distribución espacial de su modelaje, refieren una abundancia del recurso en la región de Tampico-Madero-Altamira, coincidiendo con los “picos” del modelo de [Hori \(2005\)](#) y del SSAA en este trabajo; mientras que, por el contrario, los mencionados autores señalan una escasez en el sector agropecuario, ya que los volúmenes de agua concesionados para este sector son superiores a la oferta de agua en la cuenca; la distribución espacial de este sector en la cuenca se corresponde con las zonas valores medios y bajos de escurrimiento (en el modelo de Hori) o de aporte (en el SSAA evaluado).

[Sánchez, et al. \(2008\)](#) concluyen que en el sector industrial (ubicado casi todo en Altamira) no se tienen problemas de escasez, siendo mínimos en el sector urbano (mayoritariamente en la zona Tampico-Madero-Altamira) y rural; mientras que sucede lo contrario sucede en el sector agrícola, donde podrían agravarse los problemas de escasez debido a los efectos del cambio climático. No obstante, un estudio realizado con anterioridad por [Adame y Sánchez \(2003\)](#), arrojó como resultado que no es posible sostener un incremento en las actividades industriales mayor al 3% anual a partir de 2010, ya que la disponibilidad de agua ya estaba tendiendo a disminuir por el efecto combinado del incremento poblacional y el cambio climático.

El volumen total de escurrimiento medio anual obtenido a través del modelo de [Hori \(2005\)](#) es de 1,287.68 millones de metros cúbicos; esto representa un 58.6% de los 2,198 Mm³ promedio anual reportados por [GETSLRT](#) para 2004, así como 69.8% del señalado por [Sánchez, et al.](#) para el año 2008 (2, 153.01 Mm³). Sin embargo, con datos más actuales, la [CONAGUA \(2011a\)](#), que reporta una disponibilidad similar al del modelo de aporte aquí generado) refiere un volumen de 3,073.89 Mm³ para el año 2009, por lo que el modelo de Hori estima apenas un 41.9% de este.

Una diferencia significativa entre el modelo espacial de [Hori \(2005\)](#) y el SSAA de aporte de agua de este trabajo, es que el de dicha autora parte de valores más altos y finaliza con valores más pequeños, como se observa en el Cuadro IV.2.3-3. Además, el 84.5% se encuentra en el rango de 400 a 1100, mientras que en el modelo de aporte de agua, el 61.6% se encuentra en este rango.

Cuadro IV.2.3-3. Volumen de escurrimiento medio anual para cada rango del Balance Hídrico de [Hori, C. \(2005\)](#).

Rango	% de la Superficie	Escurrecimiento medio (Mm ³ /año)	%
489.804-581.313	6.05	49.16	3.82
581.313-672.821	11.63	108.35	8.41
672.821-764.33	7.92	85.57	6.65
764.33-855.839	25.05	303.05	23.53
855.839-947.348	21.93	292.20	22.69
947.348-1038.857	9.38	137.86	10.71
1038.857-1130.365	6.93	112.61	8.75
1130.365-1221.874	7.11	124.70	9.68
1221.874-1313.863	3.99	74.18	5.76

Fuente: elaboración propia con datos cedidos por cortesía de [Hori, C. \(2005\)](#).

Es necesario señalar que, en este trabajo no se contó con los elementos suficientes para dilucidar el origen de las diferencias en la disponibilidad del recurso hídrico, entre los modelos comparados y los datos de [CONAGUA \(2011a\)](#), o bien con los de otros autores respecto a los volúmenes de escurrimiento superficial en la cuenca. No es posible conocer si existe un cambio real en los recursos, o simplemente si se debe a la diferencia de los datos digitales, o bien en las metodologías usadas en las distintas modelaciones. Lo que sí se ha demostrado es que los recursos hídricos de la cuenca presentan un grado de presión moderado (según [Sánchez, et al., 2008](#), usando criterios de CNA, 2007), sesgado hacia la actividad agropecuaria, que es la única con problemas de escasez. [Lozano \(2011\)](#) señala que el aporte de agua en cada subcuenca es un indicador del estado de conservación general de la misma. Por lo tanto, es posible decir que, mientras se mantengan bien conservados los ecosistemas de la cuenca, se podrá seguir contando con una adecuada disponibilidad del recurso para las actividades diferentes a la agropecuaria; por ello, debe tenerse en cuenta que todos los SSAA hidrológicos se reducen cuando existe una afectación a los ecosistemas, ya sea de carácter antropogénico ([Célleri, 2009](#)) o natural.

Como ya se mencionó, la protección de cuencas se basa en salvaguardar “los terrenos cubiertos de arbolado” de las cabeceras de cuenca con aprovechamiento para riego agrícola ([SAF, 1940](#)). No obstante, [Porrás \(2003\)](#) sostiene que la idea de bosques generadores de agua es usada como argumento de conservación, pero no se encuentra

respaldado por argumentos científicos robustos, sino que los estudios en general demuestran que en algunos casos son zonas con poca producción hídrica. Menciona que los bosques por una parte aumentan la retención de agua en el suelo por efecto del sotobosque y la capa orgánica del suelo, y por la otra pierden agua por la evapotranspiración del dosel arbóreo, situación que podría causar problemas a la hora de pagar por un SSAA que finalmente no es producido como se espera.

En México, la **CONAFOR** establece dichos **PSA** hidrológicos en ciertos terrenos, con el objeto de “conservar la cobertura boscosa, se logre la recarga de acuíferos y manantiales, y se evite la erosión de suelo” basándose en el criterio de que “el polígono propuesto para el pago deberá contar con una cobertura forestal arbórea igual o mayor del 50%”; aunque mencionan otros criterios biofísicos de decisión como el riesgo de deforestación o de desastre, la ubicación sobre acuíferos sobreexplotados, la disponibilidad de agua, o la pertenencia a un **ANP** ([SEMARNAT, 2010](#)) no indican acerca de los tipos de ecosistemas que deban protegerse con mayor prioridad que otros, debido a su aportación de agua a las cuencas. A este respecto, [Ayala et al. \(2010\)](#) encontraron que algunos ecosistemas de zonas áridas pueden ser aptos para **PSA** hidrológicos, si se evalúan con mayores bases biofísicas que las establecidas por **CONAFOR**; por ejemplo, incluyen factores que no utiliza **CONAFOR**, como la presencia de escurrimientos superficiales, la permeabilidad del suelo y la precipitación pluvial. Esto coincide con la aportación de algunas regiones del ecosistema semidesértico, similar a otras de selvas bajas en otras regiones de la cuenca. Por ello, se concuerda con la sugerencia de [Ayala et al. \(2010\)](#), respecto a la necesidad de que los apoyos se evalúen con criterios diferentes para regiones áridas que para tropicales.

Dentro de este contexto, el presente modelo es un importante indicador de las zonas donde es más importante el SSAA de aporte de agua, y que no necesariamente son las de mayor cuantía, ni las de mayor cobertura boscosa, ni las ubicadas en las partes más altas de la cuenca. Para afinar este modelo, en un futuro será necesario ingresar las variables temporales y temáticas no contempladas por el mismo. Sin embargo, para medir el impacto social de los ecosistemas por producción de este SSAA, se consideró que es adecuado realizando los ajustes necesarios para su posterior evaluación socioeconómica.

Este es un buen punto de partida, especialmente si se observa desde la perspectiva de adaptación al cambio climático (que reducirá aún más la disponibilidad de agua en México, según estima [CICC, 2009](#)), ya que, como refieren [Sánchez, et al. \(2008\)](#), aún aplicando medidas de mitigación, el agua disponible en el sistema de la cuenca no es, ni será, suficiente para cubrir la demanda proveniente de los volúmenes concesionados a los usuarios agropecuarios de la cuenca. Aunque su análisis muestra que los centros urbanos de la cuenca no tienen problemas de escasez, mientras que en las comunidades rurales sólo se presenta cuando obtienen el recurso de fuentes subterráneas. Esto es evidente si se obtiene la aportación de agua *per cápita* obtenida del modelo, que es de 7,123.21 m³/habitante al año (6,390.3 m³ de acuerdo con la disponibilidad reportada por [CNA, 2011](#); 2, 657.52, según [Sánchez, et al., 2008](#)), lo que es 1.65 veces mayor al promedio en México y 4.2 veces superior al umbral internacional de estrés hídrico establecido por el WRI (2009), ambas cantidades citadas por ([CICC, 2009](#)).

IV.2.3.2. Valuación socioeconómica del SSAA

El acceso al agua limpia y en cantidad suficiente para todas las personas es considerado como uno de los objetivos de la EEM (2005). En México, este derecho se elevó a rango constitucional desde el año 2011, garantizado por el estado mediante modificación del Artículo 4to, que literalmente refiere:

Artículo 4to, párrafo 6to: “Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines” (SecGob,2012).

Sin duda, esta disposición jurídica es un avance en cuanto a derechos humanos, lo cual beneficia en mucho a la sociedad mexicana. Sin embargo, existen implicaciones de diversos tipos, como la de carácter jurisdiccional, ya que, de acuerdo con Herrera (2012) en el momento que a un ciudadano no se le haga efectivo este derecho, se entraría a “una situación de denegación de justicia en materia hídrica y de derechos humanos.” Por lo tanto, esto plantea un importante reto para las autoridades de gobierno y demás tomadores de decisiones en México, ya que, de acuerdo con Bergkamp y Sadoff (2008 EN WWAP, 2009), no es posible asumir que existe una suficiente disponibilidad del recurso, en cuanto a la cantidad, calidad o suministro constante del recurso.

Por otra parte, ANEAS (2010) refiere que la modificación del Artículo 4 Constitucional es “compleja” puesto que falta infraestructura, inversión o “recursos naturales”, que podrían resolverse con suministro en auto-tanques, pero a costos muy altos, como también señala (Barzev, 2002). ANEAS (2010) reconoce que no se consideraron las implicaciones presupuestales, puesto que obliga a los ayuntamientos a garantizar este nuevo derecho, pero no todos cuentan con la capacidad para responder a ello. El asunto “políticamente incorrecto” de tratar es que, de acuerdo con (Barzev, 2002), si en un lugar no fuera posible obtener el recurso para las distintas actividades humanas, la población deberá elegir entre pagar para traerlo de otros sitios o emigrar por su sobrevivencia.

Como cualquier otro beneficio de los SSAA, el agua es considerada como un bien gratuito, aunque debe entenderse que tiene un costo de producción (Barzev, 2002); este costo, como ya se mencionó, no es considerado a la hora de establecer tarifas o precios de suministro. En general, los precios del agua se basan típicamente en las erogaciones realizadas para el suministro del recurso, como las inversiones en infraestructura y los gastos de operación y mantenimiento (Bergkamp y Sadoff, 2008 EN WWAP, 2009). Por lo tanto, los usuarios acaban pagando por la distribución y extracción del recurso, pero no por su producción ni por la recarga de los acuíferos (Monroy, et al., 2011). Esto se refleja en la facturación mensual cobrada actualmente en Tamaulipas, que se ilustra en la Figura IV.2.3-7, por medio de la factura mensual de una casa unifamiliar de la capital del Estado, con un consumo típico promedio de ocho metros cúbicos mensuales y un cobro de 2.12 € (\$36.63 MXN) por el servicio de suministro de agua.

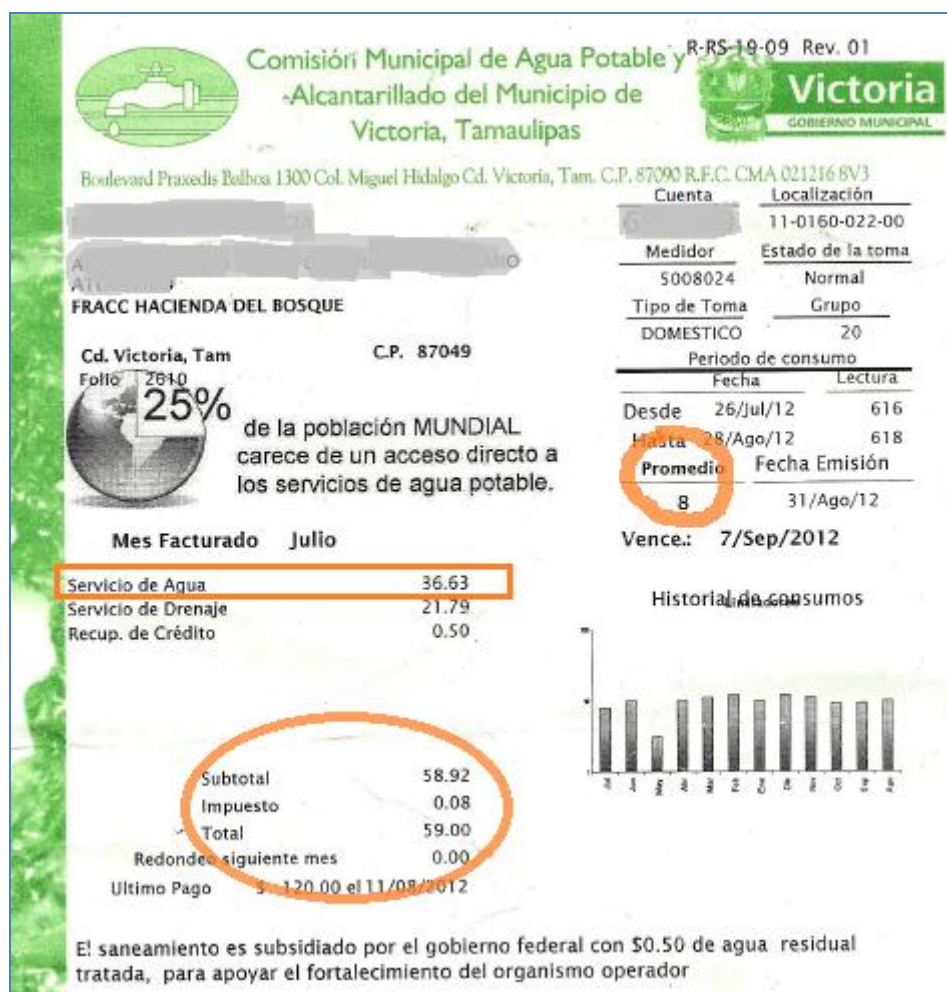


Figura IV.2.3-7. Parte de la factura mensual de una casa unifamiliar, emitida por el organismo administrador y gestor del agua en el municipio de Victoria, capital del estado de Tamaulipas.

Por otro lado, la gestión y las políticas de abastecimiento del recurso se definen básicamente por el comportamiento de la demanda (Ferreiro, 1994 EN [Aburto, 2003](#)), pues es considerado como un bien común, público ([Aburto, 2003](#)) y gratuito ([Barzev, 2002](#)). Todos estos factores provocan que el recurso agua sea infravalorado, por lo que tiende a sobreexplotarse, además de que ese valor distorsionado puede inducir a errores en las decisiones de inversión (Bergkamp y Sadoff, 2008 EN [WWAP, 2009](#)), especialmente en los sectores públicos.

Por lo tanto, para que la población obtenga un acceso sostenible y adecuado al recurso, se debe estudiar el papel de los ecosistemas en la satisfacción de las demandas para los diferentes usos humanos, en relación con el monto de su aportación económica para satisfacción de tales demandas. Por ello, es necesario que los ecosistemas sean económicamente contabilizados como parte de la infraestructura del suministro de agua, ya que, de continuar siendo ignorados en las decisiones políticas, de gestión o de mercado, pronto traerán severas repercusiones económicas ([Emerton y Bos, 2004](#)). Esto es parte del reconocimiento al ecosistema como una estructura imprescindible en la producción de SSAA, en este caso, el de aporte de agua.

(Barzev, 2002) señala que el valor de los SSAA hidrológicos es un beneficio económico que aportan los ecosistemas a la sociedad; parte de este beneficio se materializa en forma de la disponibilidad del recurso, lo que evita que la población deba afrontar los costos de migrar o buscarlo en otro sitio. No obstante, como se ha venido analizando, la relación entre producción de agua y el ecosistema “raramente” se considera en forma explícita o como parte de los análisis económicos (Emerton y Bos, 2004). Por ello, para analizar el monto que este beneficio significa para la sociedad del área de estudio, en primera instancia se extrajo la fracción de aporte de agua que puede estar disponible para el uso doméstico (Figura IV.2.3-8). Al ser un mapa derivado del aporte total, muestra misma tendencia que éste, con las menores proporciones otorgadas por la región noroeste de la cuenca, y las mayores en el extremo sureste.

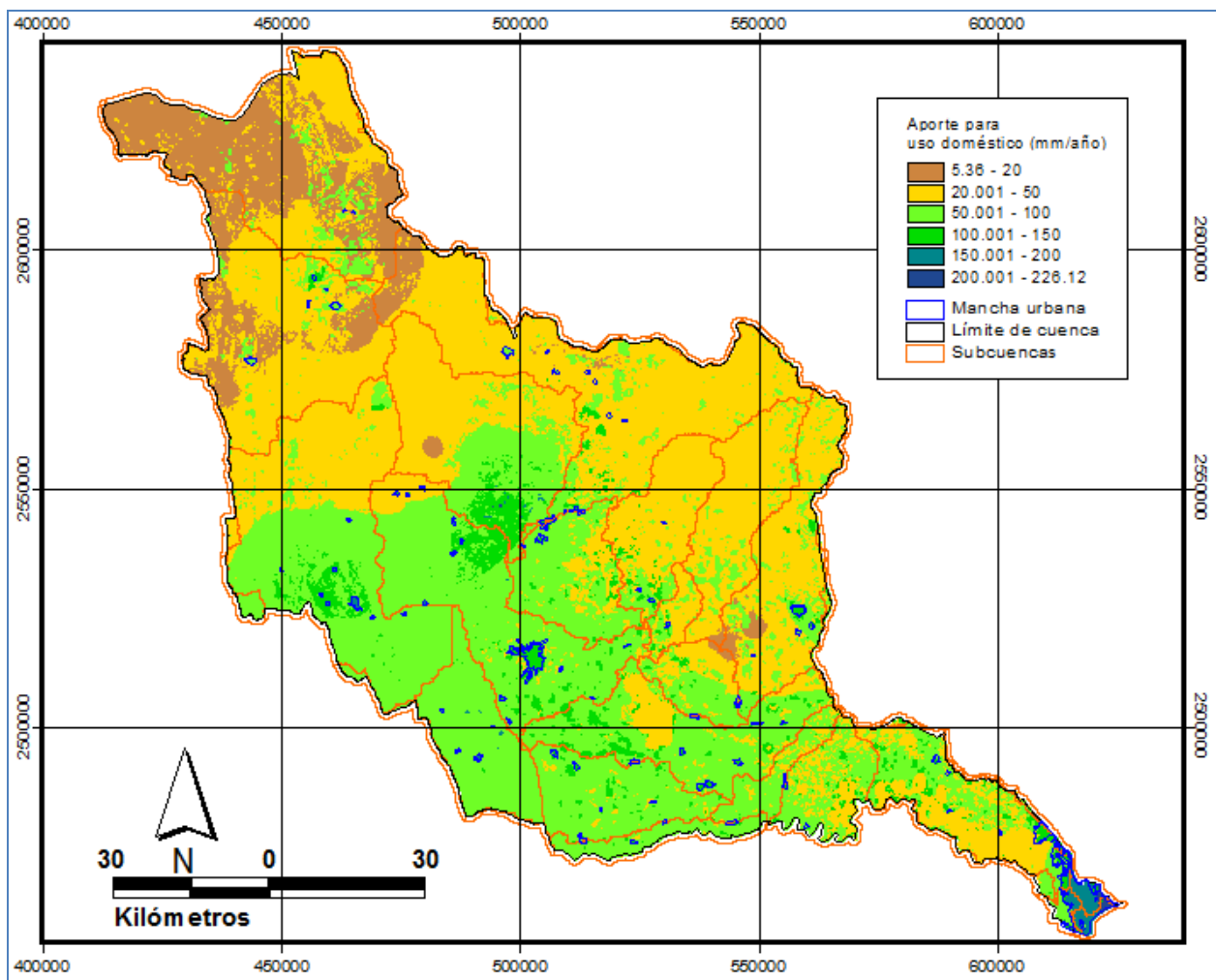


Figura IV.2.3-8. Fracción del SSAA de aporte de agua, disponible para usarse en el ámbito doméstico.

El mapa muestra cómo las porciones sur de la cuenca se ven mayormente favorecidas con los aportes anuales de agua más importantes. Con el objeto de realizar la evaluación socioeconómica de este modelo, se ajustó el *grid* y se obtuvieron las fracciones respectivas al uso doméstico, para obtener las cantidades del SSAA correspondientes a cada municipio, las cuales se observan en el Cuadro IV.2.3-4.

Cuadro IV.2.3-4. Aporte de agua de los ecosistemas al consumo doméstico de cada municipio de la cuenca.

Municipio	Mm ³ /año	%	m ³ /Ha	Municipio	Mm ³ /año	%	m ³ /Ha
González	445.72	24.58	1,398.74	Palmillas	33.56	1.85	743.54
El Mante	311.58	17.18	1,838.60	Casas	24.44	1.35	1,043.95
Jaumave	212.33	11.71	782.02	Victoria	15.02	0.83	671.18
Ocampo	194.85	10.74	1,383.68	Tampico	7.02	0.39	787.55
Llera	192.00	10.59	1,098.30	Miquihuana	6.80	0.38	198.28
Altamira	102.80	5.67	1,483.64	Güémez	4.47	0.25	732.08
Xicoténcatl	97.44	5.37	1,162.97	Bustamante	1.17	0.06	622.05
Antiguo Morelos	85.95	4.74	1,879.14	Ciudad Madero	0.85	0.05	250.28
Tula	39.71	2.19	1,416.96	Nuevo Morelos	0.14	0.01	2,196.89
Gomez Farías	37.72	2.08	872.14	Aldama	0.07	0.00	933.02

Las aportaciones totales a cada municipio se relacionan directamente con las superficies del mismo, por lo que destacan los de mayor territorio en la cuenca. Sin embargo, al obtener el promedio de la aportación por hectárea, Nuevo Morelos se pone en primer lugar, debido a su pequeña, pero productiva superficie dentro de la cuenca, ya que son terrenos del parteaguas, con selvas, suelos permeables, altas condiciones lluviosas y **ETreal** media. Colindando con este municipio, y de condiciones biofísicas similares se encuentra Antiguo Morelos, en segundo lugar por su promedio de aporte por hectárea. Le siguen Altamira y El Mante, de mayor superficie, pero el primero con un clima más lluvioso y ecosistemas de menor **ETreal**. Por el lado contrario, los que cuentan con menores aportaciones de este SSAA son los municipios de los extremos: los de condiciones más secas y menos húmedas del Valle de Jaumave, así como los más urbanizados del sur (Tampico y Ciudad Madero).

El mapa de la fracción de aporte al consumo doméstico fue multiplicado por el valor socioeconómico del agua, de acuerdo con el índice de accesibilidad de cada subcuenca. Este índice y el valor correspondiente se muestran en la Figura IV.2.3-9; este valor es un indicador del costo socioeconómico del agua, de acuerdo con las tarifas que se cobrarían por llevarla en contenedores a los sitios donde el recurso se agota, especialmente en épocas de estiaje. Por lo tanto, las subcuencas con mayor porcentaje de pendiente, menor red de accesos terrestres y mayor distancia desde la fuente de abastecimiento hasta la localidad más lejana en su territorio, presentan los índices más altos; ahí, al ser el agua más difícil de conseguir, la sociedad tendrá una **WTP** más alta que en las otras subcuencas.

Se estimó que el valor total del aporte de agua por parte de los ecosistemas de la cuenca Guayalejo-Tamesí es, como mínimo, de 181 millones de euros anuales (181'021,495 €/año). En promedio, la cuenca produce cada año un valor por su aporte de agua de hasta 487.6 €/Ha en los sitios de mayor productividad. En promedio general, el valor de este SSAA es de 121.41 €/Ha, lo cual redundará en un beneficio de 433.34 €/año *per cápita* (de acuerdo al número de habitantes en las localidades de la cuenca reportados en el censo de INEGI de 2010); este valor, cuya distribución espacial se muestra en la Figura IV.2.3-10, representa la pérdida que tiene cada habitante de la cuenca por cada hectárea de ecosistema que, al afectarse, deje de aportar las cantidades actuales de SSAA sólo por concepto de consumo doméstico.

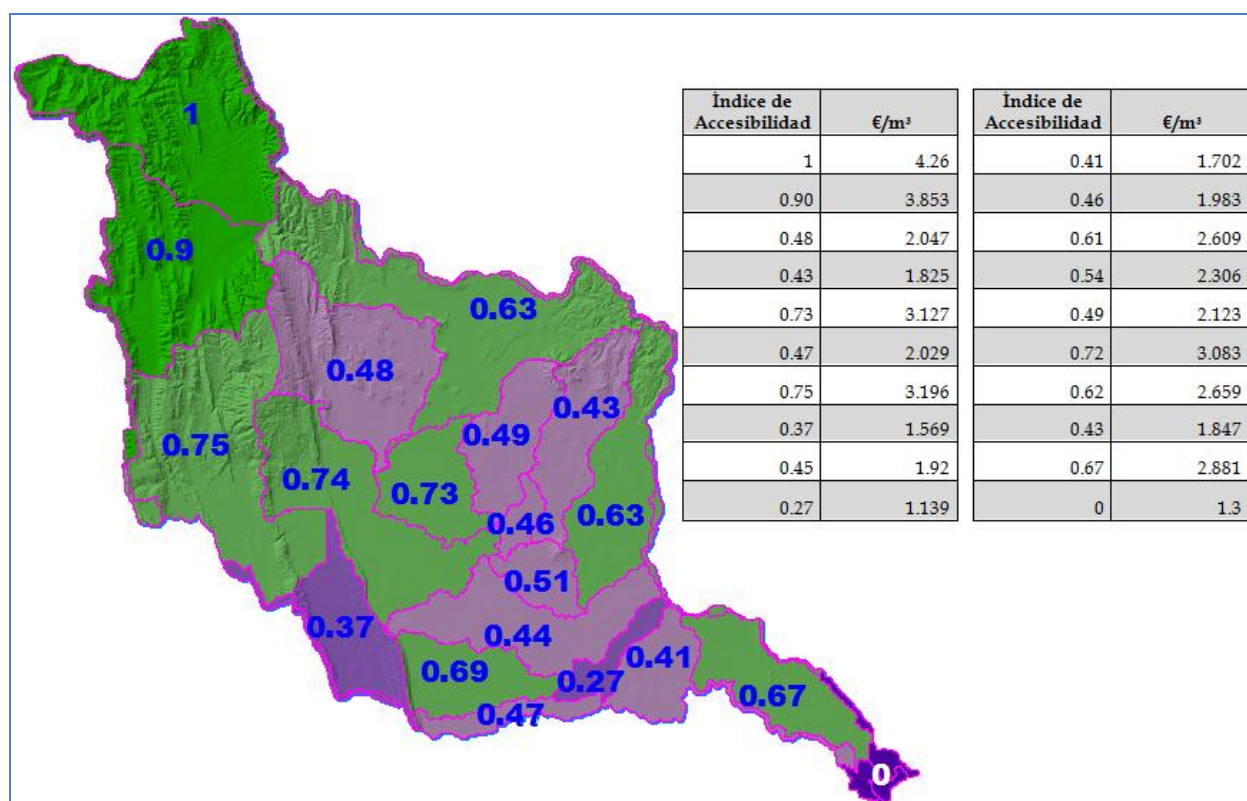


Figura IV.2.3-9. Índice relativo de accesibilidad por vía terrestre y el costo teórico de transporte de agua.

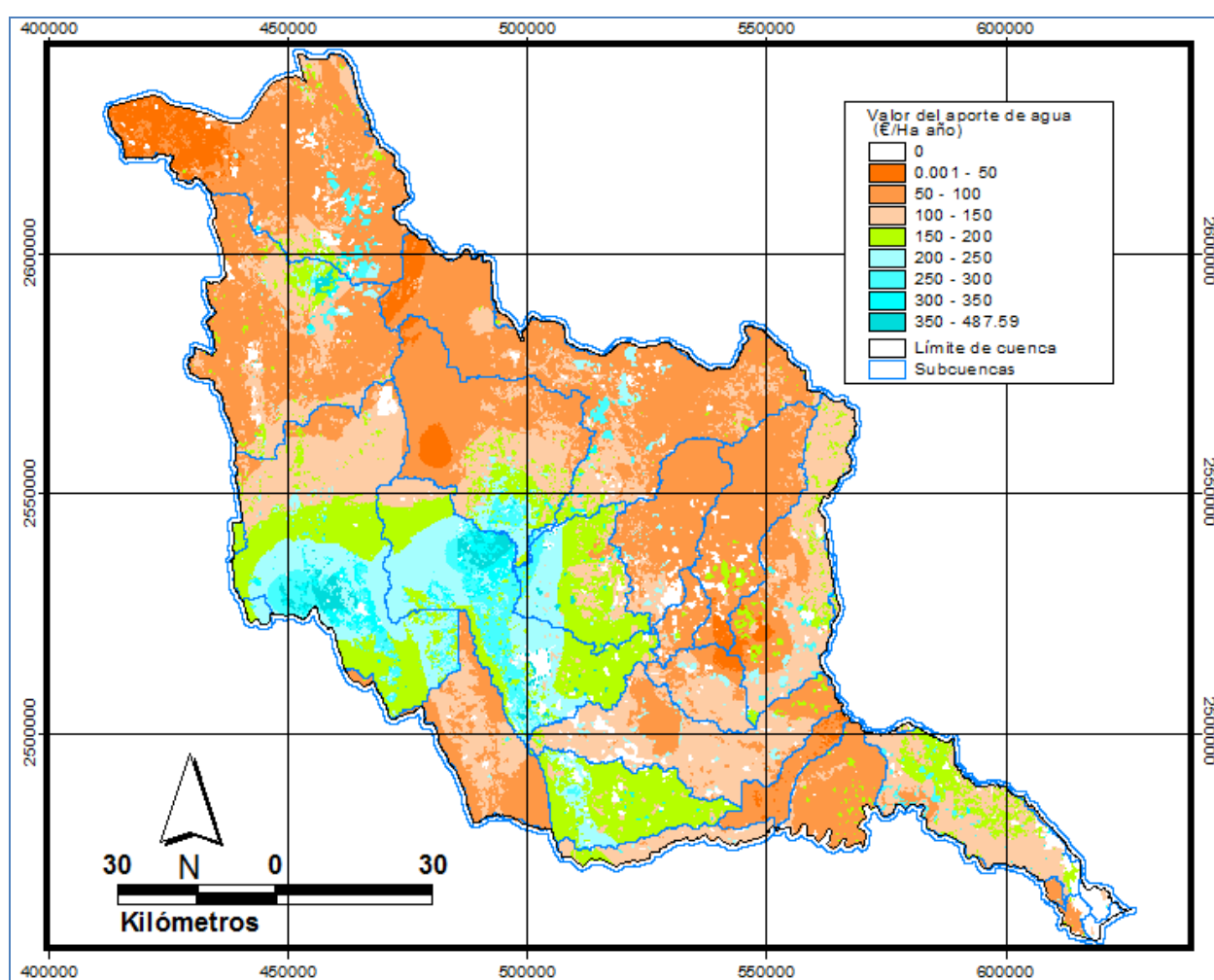


Figura IV.2.3-10. Distribución espacial del valor por hectárea del SSAA de aporte de agua para consumo doméstico.

Otros autores han valorado diferentes SSAA hidrológicos, basándose en varios conceptos y utilizando métodos distintos; algunos de ellos se enlistan en el Cuadro IV.2.3-5. Aunque diferentes, pueden observarse algunas coincidencias significativas: a) en los sitios donde el SSAA está valuado por concepto de **WTP** por parte de los usuarios domésticos, el rendimiento por hectárea no alcanza el euro anual; esto sucede en sitios donde la población tiene bajos niveles de ingresos, como el estudio en Honduras (donde no hay una tarifa por el servicio de agua potable) y el del estado mexicano de Hidalgo; b) en los sitios donde se valoraron SSAA de regulación hídrica y **PSA** hidrológicos, los montos se encuentran en rangos de 20 a 100 euros por hectárea al año; c) las valuaciones que incluyeron análisis de disminución del recurso ante cambios en la cobertura del bosque, obtuvieron rangos de 126 a 191.5 euros anuales; d) el valor más alto fue reportado para bosques en Nicaragua, donde se obtuvo el valor del SSAA de producción de agua desde la demanda para uso doméstico, en lugares donde la gente debe acarrear el agua, pues carece del servicio en su domicilio.

Cuadro IV.2.3-5. Valuación de SSAA hidrológicos en varias partes del mundo. Entre paréntesis se indica el monto actual, deflactado con las variaciones del INPC en México a octubre 2011 (en <http://www.banxico.org.mx/portal-inflacion/index.html>)

Lugar y ecosistema	Autor (es)	Año	Valor Ha/ año	Concepto
Honduras. Bosque tropical húmedo y muy húmedo	Barzev	2002	1.33 Lempiras** (0.07€*)	Agua para uso doméstico (sin pago de usuarios)
Hidalgo, México. Matorrales, bosque de coníferas, y tropical caducifolio	Monroy, <i>et al.</i>	2011	1.21 MXN** (0.07 €)	WTP usuarios domésticos por recarga de acuíferos
Brasil, bosques tropicales	Torras (en Oyarzún, <i>et al.</i> , 2005)	2000	19 USD (22.58 €)	Regulación hídrica
Baja California, México. Matorrales y bosques de coníferas.	Ayala, <i>et al.</i>	2010	382 MXN (23.82 €)	PSA hidrológicos
Malasia. Bosques tropicales	Kumari (en Oyarzún, <i>et al.</i> , 2005)	1996	15 USD (35.1 €)	Aporte de agua para riego agrícola
Costa Rica. Bosques	Camacho, <i>et al.</i>	2000	40 USD (47.54 €)	PSA por SSAA hidrológicos por la Compañía de luz.
Veracruz, México	Sendas (en Ayala, <i>et al.</i> , 2010)	2003	1, 100 MXN (92.28 €)	PSA hidrológicos
Estado de México, México	PROBOSQUE (en Ayala, <i>et al.</i> , 2010)	2009	1,500 MXN (96.86 €)	PSA hidrológicos
Chile. Bosque templado lluvioso	Oyarzún, <i>et al.</i>	2005	79, 971 pesos Chilenos (126.53 €*)	Abastecimiento doméstico ante cambios en el bosque
Guatemala. Bosques templados y tropical frondoso.	Hernández, <i>et al.</i>	2002	183.3 USD (191.5 €)	Regulación hidrológica para tarifa promedio en verano
Nicaragua. Bosques	Aburto	2003	520 USD** (514 €)	Precio de producción de agua desde la demanda
Perú. 0.394 USD/m ³ (0.27 €)	Pareja y Tapasco	2011		Agua para uso agrícola en el mes más crítico

* Tipo de cambio en México a diciembre del año señalado por el autor, de acuerdo a Banxico (<http://www.banxico.org.mx/>); ** En estos casos no se reportó directamente el valor por hectárea, por lo que se dividió el valor total estimado entre la superficie del área de estudio.

El valor promedio obtenido en la cuenca supera los mencionados por Ayala, *et al.* (2010) para los PSA hidrológicos en el Estado de México y en el vecino estado de Veracruz; sin embargo, debe aclararse que estos valores son PSA por parte de: un organismo público descentralizado el primero (<http://portal2.edomex.gob.mx/probosque/index.htm?ssSourceNodeId=6165&ssSourceSiteId=probosque>) y de una ONG el segundo (<http://sendas99.wordpress.com/>). En cambio, el promedio de la cuenca se ubica en el rango de la valuación que considera la escasez del recurso, que fue un factor

importante de valuación en el presente trabajo, mediante el índice de accesibilidad. Sin embargo, queda muy por debajo de los 514 € anuales inferidos del trabajo de [Aburto \(2003\)](#) para Nicaragua, quien utilizó como indicador el precio del SSAA de producción de agua de lado de la demanda de un recurso cada vez más escaso en su área de estudio.

Por lo tanto, es posible comentar que la valuación socioeconómica de los SSAA hidrológicos sigue el comportamiento de mercado (que se adhiere a la ley oferta/demanda); ya que la integración del factor escasez arroja mayores valores que cuando se evalúa solamente a nivel conceptual (como generalmente ocurre con los **PSA**); y si se evalúa desde el **WTP** de los usuarios domésticos, el valor cae a niveles cercanos a cero, muy probablemente porque la gente común sigue con la “concepción errónea” que refiere [ANEAS \(2003\)](#), no sólo de llevar el agua a las viviendas, sino además del valor de producción de los SSAA hidrológicos que lo hacen posible.

Para tener una referencia de lo poco valorado que es este recurso en la cuenca y en México, el servicio de agua potable en Ciudad Victoria se paga en 25.47 €/año por vivienda (a razón de 0.27€/m³, ó 2.12 €/mensuales por vivienda), tomando en cuenta los valores promedio de la facturación mensual (ilustrada en la Figura IV.2.3-7 anterior) y 3.5 habitantes/vivienda (según datos de [INEGI, 2010](#)). Si el valor por vivienda del aporte de agua es de 781.06 €/año, significa que este SSAA está siendo sub-valorado casi 31 veces por parte de los organismos locales de gestión del recurso. Las viviendas que no cuentan con el recurso deben pagar entre 10.4 a 37.6 € para obtener los ocho metros cúbicos promedio mensuales, dependiendo de la accesibilidad por vía terrestre que tenga el sitio donde se ubique; estos son los “costos muy altos” que -sin considerar la producción del agua- la [ANEAS \(2010\)](#) sostiene que “sería sencillo pensar en resolver con suministro en auto tanques”.

Es en estas cifras donde se ve reflejada la desconexión entre organismos gubernamentales, ya que si bien las **COMAPAs** son las encargadas de la gestión municipal, la entidad federal encargada de la parte productiva del recurso sería la **CONAFOR**, a través de su programa de ProÁrbol. Este programa es pionero en establecer una forma de proteger los ecosistemas a través de **PSA** (Figura IV.2.3-11), y para 2011 sus reglas de operación señalaban un pago anual por hectárea de hasta 63.66 € por concepto del SSAA hidrológico y 12.73 € para apoyo técnico; estos son 76.39 €/Ha por la producción de SSAA en general, originados por la protección a bosques y selvas que cumplan ciertos criterios ([SEMARNAT, 2010](#)). No obstante, estas cantidades máximas de pago están subestimando en 1.6 veces el valor de la aportación de agua por los ecosistemas, que en la cuenca rinden anualmente 121.41 € sólo por el concepto de su contribución al



Figura IV.2.3-11. Señal en un predio sujeto a PSA en dentro de El Cielo (Octubre de 2004).

consumo doméstico, sin tener en cuenta otros SSAA como el de retiro de contaminantes o la regulación del ciclo hidrológico.

Finalmente, se obtuvo el valor que el SSAA aporta a cada municipio, de acuerdo con su superficie, el promedio del valor por hectárea y su aportación promedio por habitante en la cuenca. Estos resultados se presentan en el Cuadro IV.2.3-6, donde es posible encontrar que, de acuerdo con su contribución total anual, destacan los municipios con mayor superficie, los que participan con 78.7% del total si se suman los que aportan más de diez millones de euros anuales (González, Ocampo, El Mante, Jaumave, Llera y Xicoténcatl); además, si se agrega el cuarto municipio de **El Cielo**, Gómez Farías (que recibe como concepto de este SSAA 9.45 M€), suman el 83.95% del valor total de la aportación de agua en la cuenca.

Cuadro IV.2.3-6. Valor anual del SSAA de aporte de agua por municipio de la cuenca y su relación con el presupuesto municipal para el año 2011 publicado por [SecGen_Tam \(2010a, b, c\)](#).

Municipio	Valor anual			% presupuesto municipal (valor total)	Relación Presupuesto: SSAA	
	Total (M€/año)	Promedio (€/Ha año)	Promedio (€/Hab. año)		€/Ha año	€/Habitante año
González	31.07	97.52	1,009.49	427.36	750.26	965.74
Ocampo	29.96	212.75	2,650.76	132.33	1,669.84	1,530.68
El Mante	25.98	153.28	224.33	28.02	218.05	217.51
Jaumave	25.86	95.25	1,712.16	2,008.23	2,024.82	2,008.23
Llera	15.87	90.77	962.93	480.33	731.21	582.73
Xicoténcatl	13.77	164.38	602.35	169.45	480.33	480.33
Gómez Farías	9.45	218.57	1,075.95	6.78	628.95	628.95
Altamira	8.64	124.63	104.59	1.16	62.80	67.00
Antiguo Morelos	4.93	107.84	579.27	8.34	371.39	319.99
Tula	4.63	165.25	3,756.42	105.78	1,155.80	2,365.40
Palmillas	4.07	90.19	2,273.15	26.09	458.90	428.32
Casas	2.21	94.24	15,646.70	1,334.65	2,080.41	5,315.34
Victoria	1.64	73.48	328,782.11	217.51	46.63	436,655.65
Miquihuana	1.61	46.86	7,768.51	554.02	407.16	2,246.35
Güémez	0.63	103.52	7,711.84	684.41	552.48	5,350.74
Tampico	0.49	54.71	1.64	0.26	1.20	1.16
Bustamante	0.15	81.23	15,282.14	628.95	577.24	6,371.67
Ciudad Madero	0.04	11.43	0.20	0.53	0.20	0.14
Aldama	0.01	142.37	*	302.64	1,367.21	0.00
Nuevo Morelos	0.006	85.18	*	0.14	232.58	0.00

* Aldama y Nuevo Morelos no tienen habitantes en la cuenca. Los municipios escritos en color **morado** tienen menos del 40% de su territorio dentro de la cuenca.

En cuanto al valor del SSAA promedio por hectárea de cada municipio, sobresalen aquellos con mayor capacidad biofísica para producirlo. Estos son los ubicados en la zona montañosa de la cuenca media: Gómez Farías, Ocampo y Tula; y ya en la planicie, El Mante y Xicoténcatl. Todos ellos reciben en promedio más de 150 euros anuales por unidad de superficie, por concepto de este SSAA. Para destacar la importancia de esta valuación, se relacionó este indicador (como aportación a la sociedad de parte del ecosistema) con la distribución por unidad de área del presupuesto para 2011 ([de SecGen-Tam, 2010](#)) en cada municipio (como aportación a la sociedad de parte de la

Federación); de esta forma, se obtuvo que en algunos municipios el ecosistema contribuye con la sociedad hasta poco más de mil veces lo que su presupuesto anual, como en el caso de Jaumave y Ocampo (con una relación mayor a 1:2,000). En el extremo contrario están los municipios más urbanizados, aunque con relaciones de 200 veces el presupuesto como máximo, excepto Ciudad Madero, donde se invierte la tendencia general, ya que en este caso el ecosistema aporta 20% del presupuesto.

Por otra parte, para hacer accesible estos conceptos a la sociedad en general, se calculó la porción que a cada habitante de la cuenca obtiene como beneficio del SSAA de aporte de agua. Para ello, se excluyeron del análisis los municipios cuya superficie en la cuenca no llega al 40%, ya que, aunque el SSAA se produce en esos territorios, la población es mínima (o ausente, como Aldama y Nuevo Morelos) y el resultado se distorsiona muy significativamente; estos se señalan en color morado en el Cuadro IV.2.3-6 anterior.

Haciendo esas consideraciones, resulta que en los municipios donde el ecosistema tiene una mayor contribución socioeconómica *per cápita* por concepto del SSAA de aporte de agua, se tienen valores promedio mayores a mil euros anuales por persona; es el caso de Ocampo, Palmillas, Jaumave, Gómez Farías y González. En el caso contrario, los municipios más urbanizados de la cuenca el SSAA rinde menos de 200 euros anuales para cada uno de sus habitantes.

Finalmente, y para hacer más asequible el entendimiento de lo que este SSAA significa para la sociedad tamaulipeca, se contrastó la aportación anual a cada habitante de la cuenca por parte del ecosistema y por parte de la Federación. Así, resulta que las personas de Jaumave y Ocampo obtuvieron en 2011 al menos dos mil veces más recursos del ecosistema que del presupuesto para ese año (de [SecGen-Tam, 2010](#)) destinado por la Federación a sus municipios. Ciudad Madero es el ayuntamiento cuyos ecosistemas aportan una menor cuantía a sus habitantes por este concepto: apenas 14% de su presupuesto 2011.

Así las cosas, es posible señalar que, en promedio, la sociedad de la cuenca en su conjunto se expone a perder mínimo 121.4 euros anuales por cada hectárea de ecosistema que se afecta al nivel de perder su capacidad de aportar agua al territorio en estudio; aunque en algunos muy productivos, esta pérdida supera los 200 €/año. Los beneficios que la sociedad recibe por esta capacidad del ecosistema superan en miles de veces los presupuestos municipales asignados por la Federación; por lo tanto, y dependiendo del municipio donde resida, la Federación deberá aumentar su presupuesto hasta dos mil veces para compensar al mínimo las pérdidas que un habitante sufre cuando el ecosistema no puede aportarle su demanda mínima de agua para uso doméstico.

IV.2.4. Retención de nutrientes como indicador de purificación del agua

La [EEM \(2005\)](#) señala que la provisión de “agua limpia” es aquella que proviene de cuerpos de agua continentales, subterráneos, superficiales y abastecidos por agua de lluvia, que apta para su consumo doméstico, así como en las actividades agropecuarias e industriales. Por lo tanto, el agua producida por los ecosistemas debe tener altos niveles de pureza si se va a destinar para usos humanos y para un hábitat adecuado

para organismos acuáticos ([Ausseil, et al., 2013](#)). Siguiendo esta idea, el presente modelo deriva del anterior, el cual se procesa con el modelo digital de elevación para obtener los índices de escorrentía normalizados y las direcciones de flujo. Posteriormente, distribuye a través de los flujos la retención de la carga de nutrientes de acuerdo con la capacidad de cada LULC.

Como primer producto, el modelo genera el índice de escorrentía. [Tallis et al. \(2010\)](#) refieren que dicho índice es un indicador del potencial de escurrimiento superficial y sub-superficial a través del terreno, y se basa en el modelo de producción de agua y la escorrentía acumulada de los píxeles corriente arriba del píxel en cuestión. Cuanto menor sea el valor del índice, aumenta la proporción de lluvia infiltrada en el terreno.

La Figura IV.2.4-1 muestra la distribución espacial del índice para la cuenca. El modelo delinea los flujos superficiales en el territorio, donde el índice es mayor debido a la acumulación de valores de los píxeles corriente arriba. Predice las mayores y menores concentraciones de volumen escurrido, perfilando las zonas más húmedas y de principal importancia para la disponibilidad superficial del agua. Además de las corrientes superficiales, suelen ser terrenos planos, por lo que es posible distinguir el Valle de Jaumave y de Ocampo, así como la zona de la presa R. Caballero. Estas características, aunadas con la edafología y los climas de la cuenca media y baja, permiten que sobre estos territorios se desarrolle prácticamente toda la actividad agrícola de riego en la región.

Los más bajos índices de escorrentía se distribuyen en las porciones más altas de las formaciones montañosas. En esos sitios, el modelador comienza a acumular los flujos, por lo que los valores son mínimos. En este caso pueden distinguirse las áreas de mayor altitud en las sierras, e incluso se perfila nítidamente el Cerro del Bernal. El uso inapropiado del terreno en la cabecera de la cuenca afecta en forma directa los flujos hídricos del sistema; esto representa una externalidad negativa que muchas veces repercute económicamente para los usuarios río abajo, entre las que se encuentran la sedimentación, la disminución de flujos y de la calidad del agua disponible para el consumo doméstico ([Porrás, 2003](#)).

Por otra parte, el modelador utiliza la información cuantitativa de cada uno de los nutrientes y las características de los LULC para ajustar la carga crítica a cada tipo de ecosistema. Aunque todos los de tipo terrestre aportan carga de nutrientes al sistema, los usos de suelo urbano y agropecuario son los que participan con mayores cantidades. Con referencia a esto, la [EEM \(2005\)](#) refiere que el avance desproporcionado y acelerado de la frontera agropecuaria, hacia la mitad y fines del siglo XX causó que (desde 1960) se hayan duplicado los flujos de nitrógeno y los de fósforo se han triplicado. Por su parte, la [EuC \(2008\)](#) refiere que la producción ganadera es la mayor fuente de contaminación de los recursos hídricos, además de ser la mayor causa del incremento de la deforestación, cita a la FAO (2006) quien refiere que el 70% del territorio amazónico que tenía cubierta vegetal nativa se utiliza ahora como pastura, además de que el resto se utiliza para cultivos de alimento para ganado.

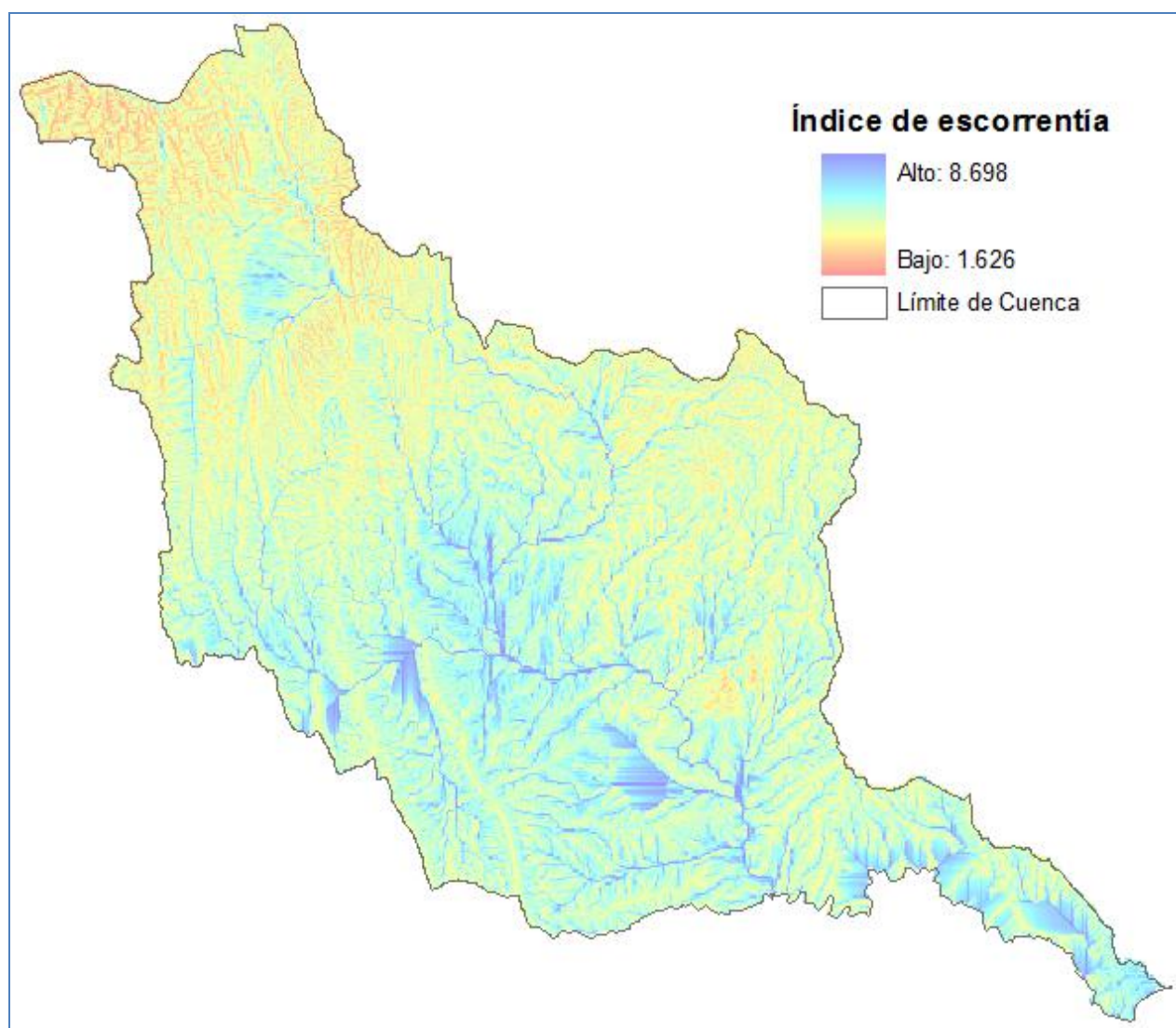


Figura IV.2.4-1. Índice de escurrentía en el sistema fluvial del área de estudio.

IV.2.4.1. Descripción biofísica del SSAA

En el área de estudio, dadas las características de las zonas agropecuarias, los mayores aportes de nitrógeno (Figura IV.2.4-2) provienen de los sitios de desarrollo de esas actividades; son especialmente altos en las áreas bajo riego, y cultivos permanentes con sistemas de fertilización, así como en las manchas urbanas y localidades rurales. La agricultura de temporal es el uso de suelo con menor aportación. En la Cuenca, [Sánchez et al. \(2011\)](#) reportan que el 51.4% del volumen total del agua concesionada se utiliza para agricultura, 28.09 para la industria y 19.06% en el sector doméstico.

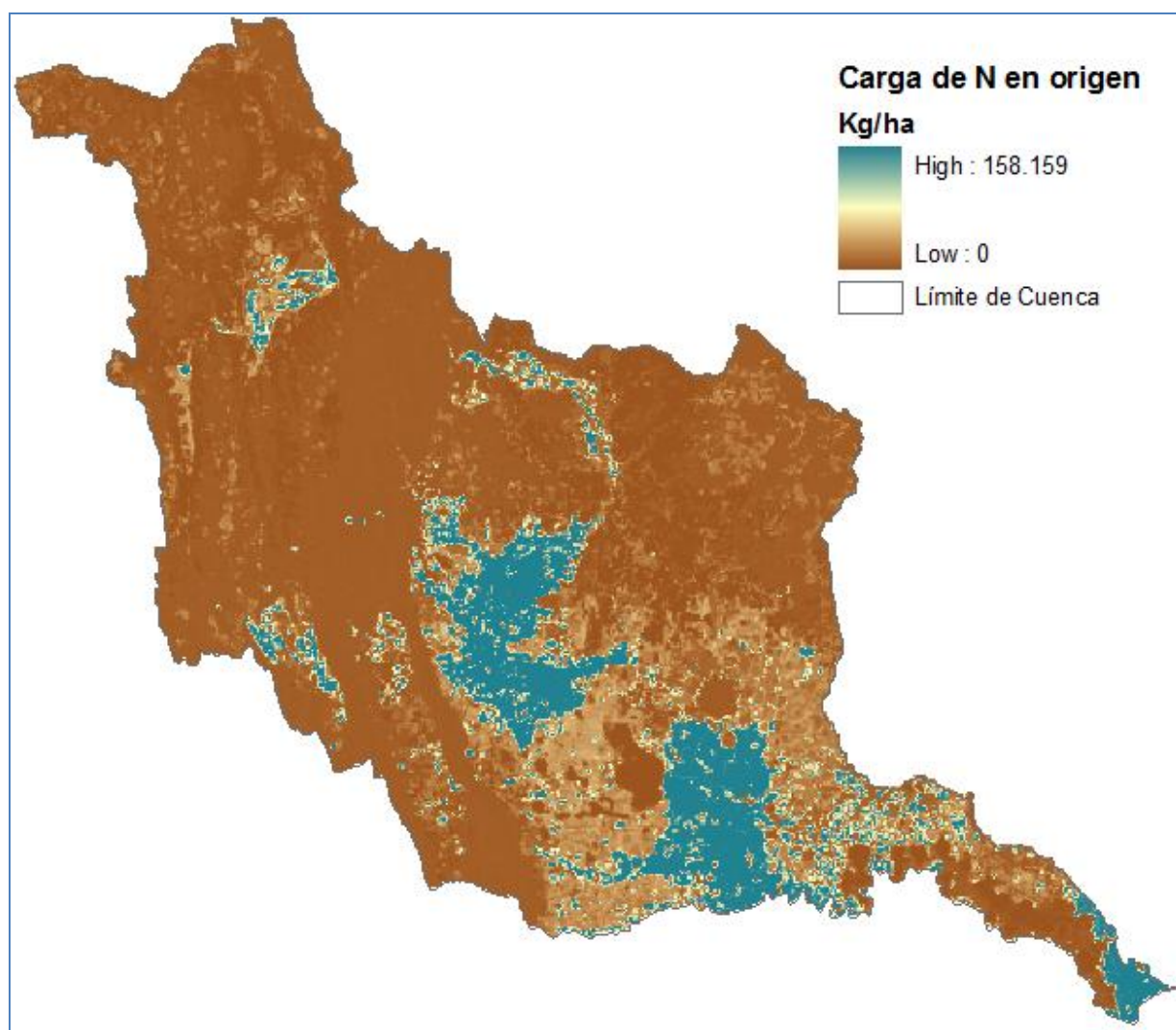


Figura IV.2.4-2. Carga anual (Kg/Ha) del nutriente nitrógeno aportada por los LULC del área de estudio

Por su parte, la carga de fósforo (Figura IV.2.4-3) es aportada principalmente por las zonas urbanas. Mientras que valores intermedios son generados en las actividades agrícolas de riego, y escasos en las zonas de temporal. Para ambos nutrientes, las aportaciones mínimas provienen de la cobertura vegetal nativa.

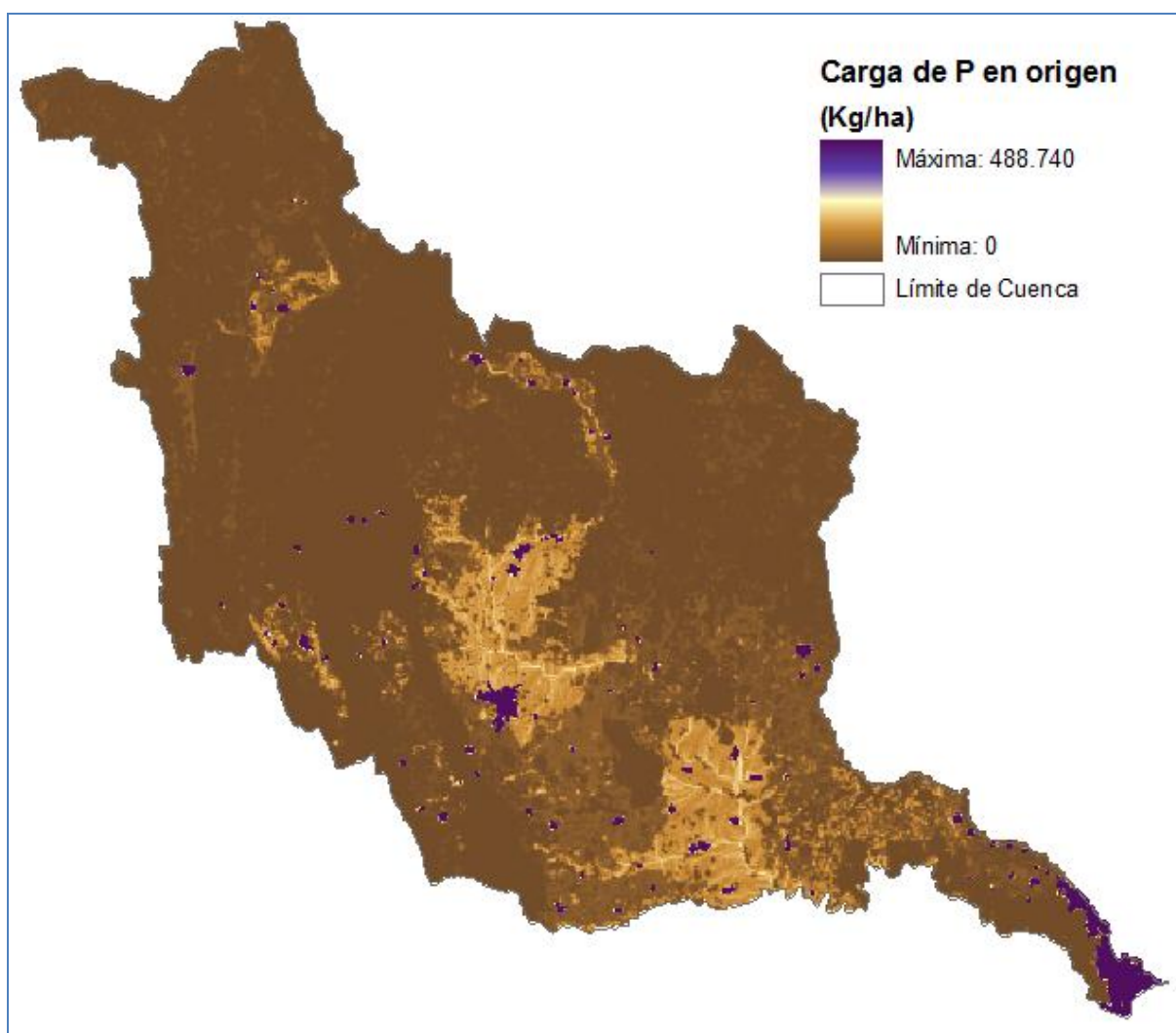


Figura IV.2.4-3. Carga anual (Kg/Ha) del nutriente fósforo aportada por los LULC del área de estudio

A partir de estos mapas, el modelador simula la carga de nutrientes exportada a los afluentes, de acuerdo con el índice de escorrentía descrito. De esta forma, se obtienen los sitios de mayor concentración de nutrientes a lo largo de las corrientes superficiales. Tallis *et al.* (2010) resaltan la importancia de este modelo para el manejo adecuado de control de ingreso de contaminación al sistema fluvial.

A partir de la segunda década del siglo XX, la población mexicana se ha incrementado considerablemente, por lo que demanda un mayor volumen de agua y produce más residuos. De estos, gran parte son vertidos sin tratamiento a los afluentes, provenientes tanto de zonas urbanas como de áreas rurales, lo que contamina por igual al suelo y los recursos hídricos superficiales y subterráneos (CONAGUA, 2011b). En el área de estudio este crecimiento se ha dado especialmente en las zonas más urbanas, industriales y agropecuarias, que en su mayoría se encuentran en la cuenca media y baja.

Por los motivos expuestos, ambos nutrientes estudiados en este trabajo se concentran a su paso por las manchas urbanas y las áreas de riego (Figuras IV.2.4-4 y 5). Pero como el nitrógeno depende más de las áreas agropecuarias, y estas tienen una mayor extensión territorial que los sitios urbano-industriales, este nutriente tiene más puntos de entrada de carga. Por ello, el fósforo aporta cantidades más importantes, pero con menor

distribución a lo largo de los afluentes. Debe notarse que la mancha urbana de Tampico-Madero-Altamira prácticamente no aporta nutrientes al sistema (excepto algunas áreas poco significativas de Altamira, que drenan hacia el sistema lagunar del Tamesí); esto es debido a que el drenaje de la zona desemboca a la misma salida de la cuenca en el río Pánuco que va directamente al mar.

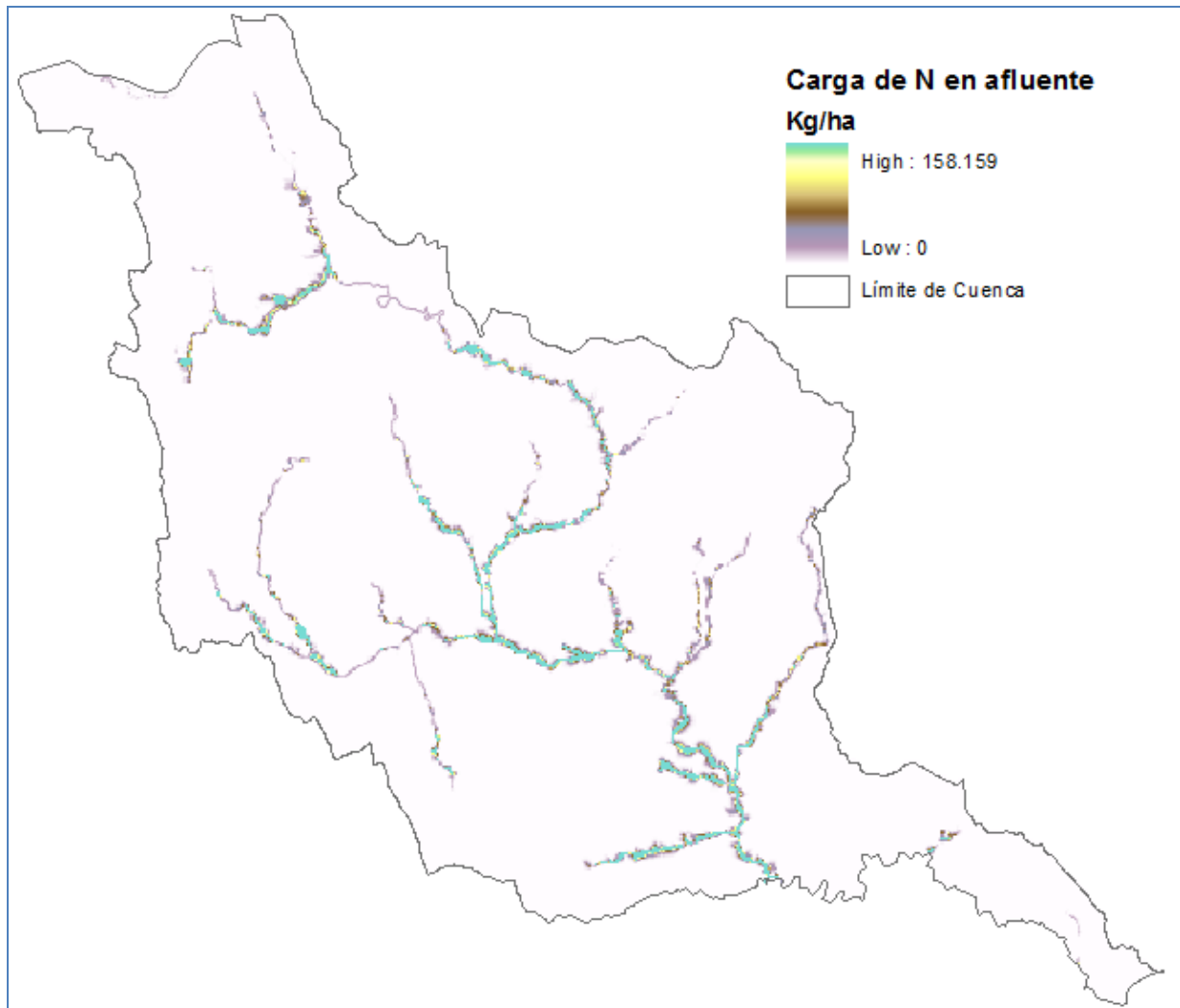


Figura IV.2.4-4. Carga anual (Kg/Ha) del nutriente nitrógeno que alcanza el sistema fluvial de la cuenca.

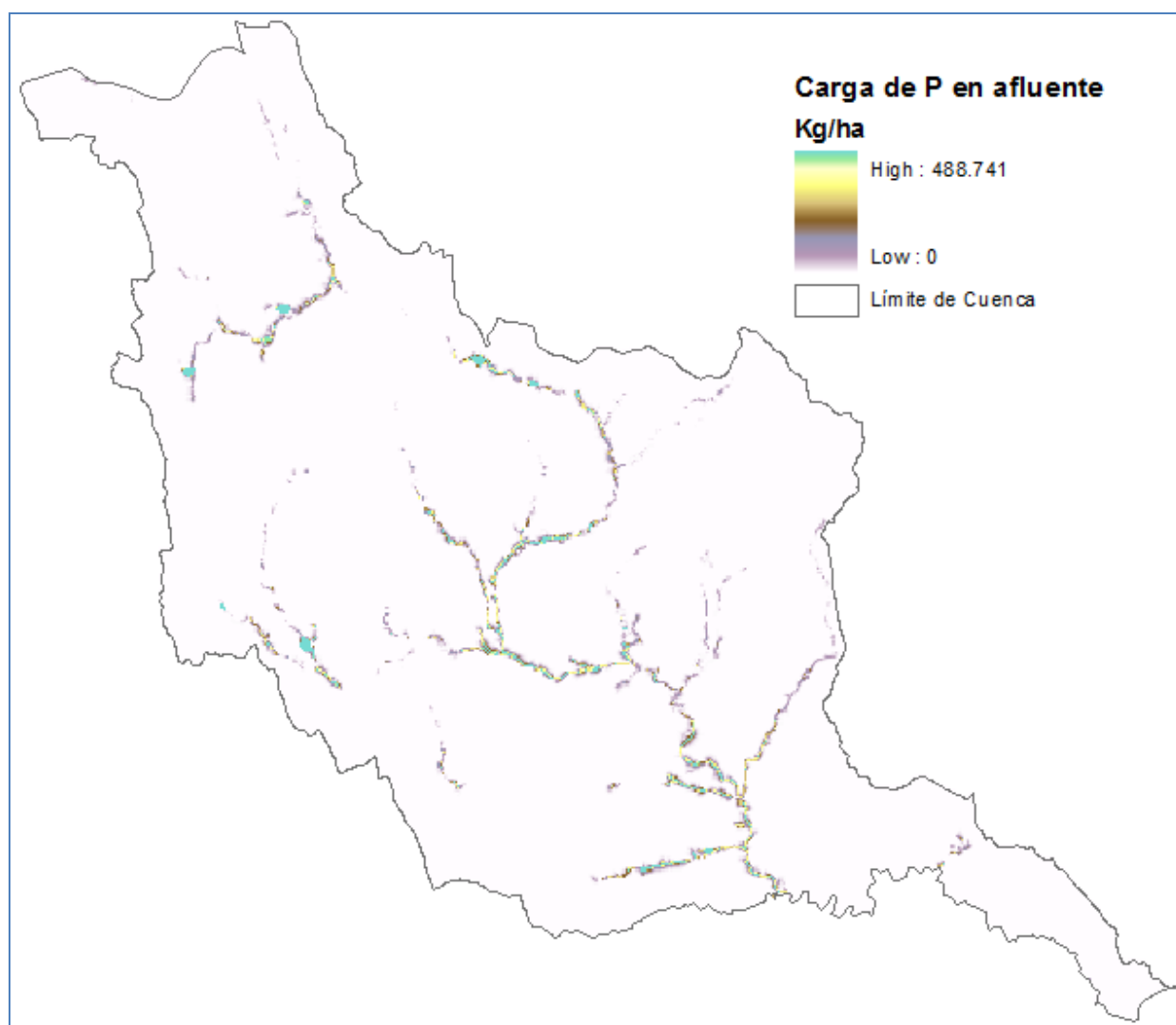


Figura IV.2.4-5. Carga anual (Kg/Ha) del nutriente fósforo que alcanza el sistema fluvial de la cuenca.

Conte, *et al.* (2011b) mencionan que las características fisicoquímicas de los sedimentos transportados por el flujo de agua en una cuenca dependen de la cobertura vegetal del terreno y de las actividades humanas que se desarrollan en el mismo. Ciertos tipos de contaminantes presentes en el flujo de sedimentos pueden ser removidos por completo de forma natural, lo que depende del grado de retención del terreno por donde fluyen. La eficiencia de esta retención está directamente relacionada con la cantidad, el tipo y la distribución de vegetación disponible para retirar los nutrientes del flujo hidráulico.

Otras variables que afectan la retención de nutrientes en el terreno son la pendiente y los volúmenes del flujo relacionados con los regímenes pluviales. El Cuadro IV.2.3-4 resume la forma en que la retención de nutrientes es influenciada por los factores mencionados.

Cuadro IV.2.4-1. Factores que afectan la retención de nutrientes por parte de los ecosistemas.

Factor	Aumenta eficiencia	Disminuye eficiencia
Tipo de vegetación	Natural y densa	Agropecuaria (actúa aportando)
Distancia a fuente emisora	Cercana	Lejana
Pendiente	Plana	Escarpada
Cantidad de lluvia	Baja	Alta

Fuente: elaboración propia, basada en información de Conte, *et al.* (2011b)

De acuerdo con lo anterior, el modelador encuentra los LULC emisores y captadores de los nutrientes estudiados y distribuye la carga contaminante que está siendo retenida por la cobertura vegetal, acorde con la ubicación en la línea de flujo y las características biofísicas de cada uno de los píxeles del *grid*. Tallis *et al.* (2010) señalan que estos son los sitios de mayor importancia para este SSAA, ya que son los que más contribuyen a mantener los afluentes libres de contaminación. En la cuenca, son aquellos que se ubican alrededor de las manchas urbanas de la cuenca media y alta, así como en los que conforman las zonas de descarga hacia los afluentes que cruzan las zonas agropecuarias. Las Figuras IV.2.4-6 y 7 revelan la distribución espacial de este SSAA de retención de nitrógeno y fósforo, respectivamente, en la cuenca.

Los ecosistemas de la cuenca remueven anualmente 15,012.045 toneladas de nitrógeno como contaminante, a razón de 69.84 Kg por hectárea. Este SSAA se distribuye fuertemente hacia los sitios de mayor flujo entre las zonas agropecuarias de la cuenca. Por ello, en la Figura IV.2.4-6, se delinear con los valores medios a máximos las áreas agrícolas de riego, así como las de temporal en ciclo anual y perenne. Estos terrenos aportan grandes cantidades de nitrógeno provenientes principalmente de las actividades de aplicación a gran escala de fertilizantes y otras sustancias utilizadas en el mantenimiento del cultivo.

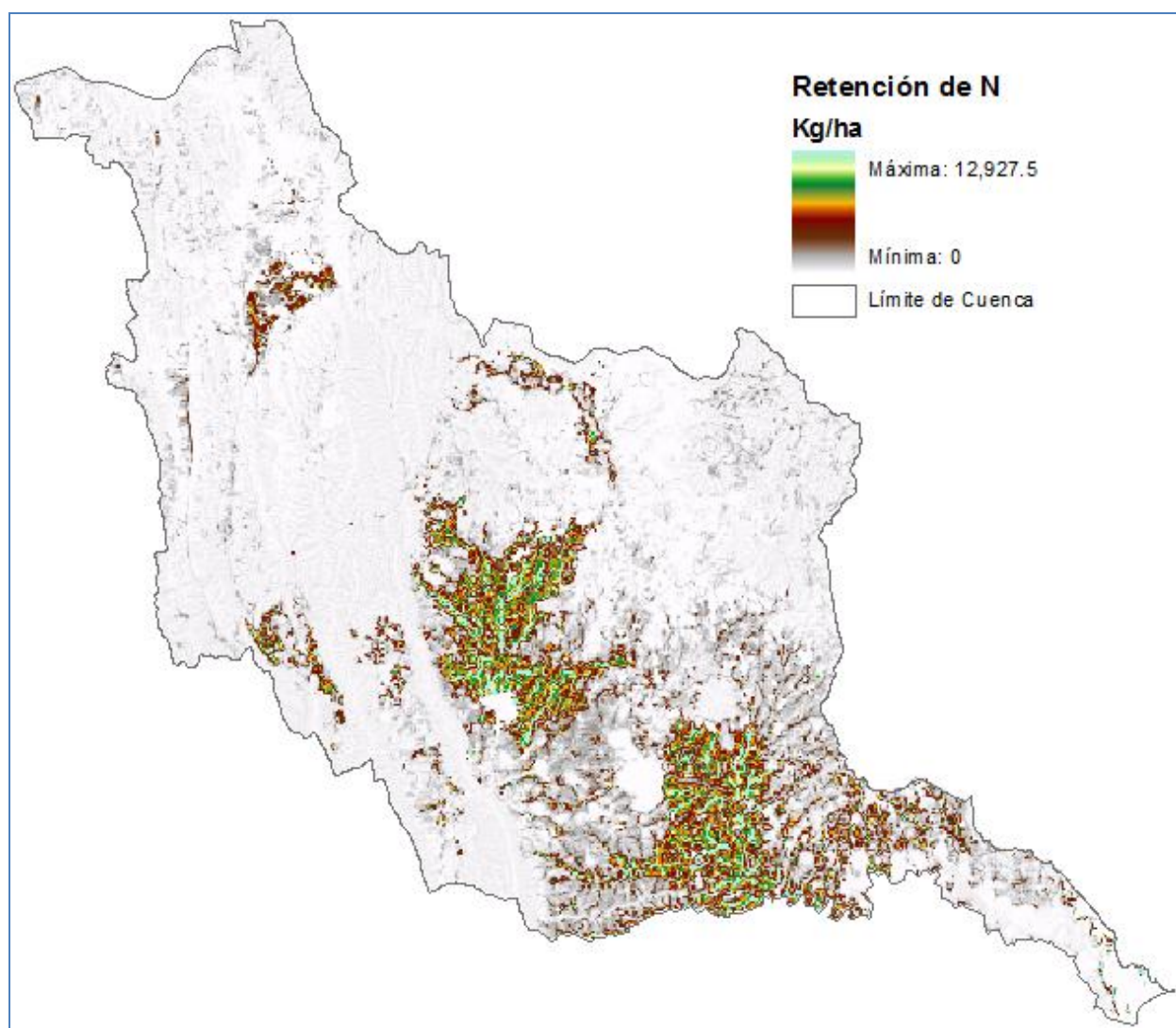


Figura IV.2.4-6. SSAA de remoción anual (Kg/Ha) del nutriente nitrógeno por los ecosistemas de la cuenca.

Las coberturas vegetales que mayor proporción de contaminante retienen en la cuenca también son –en general– las que más lo emiten: aquellas con uso agropecuario. Son además las que generalmente se encuentran alrededor de los asentamientos humanos y zonas industriales (que sólo son emisores). Los valores de retención de este contaminante se muestran en el Cuadro IV.2.4-2; ahí se observa que la AGR es el LULC que más aportación presenta, debido a sus altos valores de retención por unidad de superficie, aunado a su gran extensión territorial.

Cuadro IV.2.4-2. SSAA de retención anual de nitrógeno como contaminante en los ecosistemas de la cuenca.

LULC	Promedio (Kg/Ha)	Total (Kg)	LULC	Promedio (Kg/Ha)	Total (Kg)	LULC	Promedio (Kg/Ha)	Total (Kg)
AGR	136.62	8,827,187.00	SMSC	12.54	147,368.00	MDR	15.86	39,390.00
AGTA _{pzi}	75.51	1,651,128.00	BPE	12.16	123,113.00	PALM	23.70	34,508.00
AGTA	58.94	1,479,353.00	SBEhzch	32.68	116,923.00	QUE	11.15	30,938.00
SBC _{vs}	74.53	670,151.00	AGTP	27.12	91,542.00	MZQ1	28.06	29,283.00
PZC	46.19	440,176.00	MSM	18.45	88,223.00	RIPA	49.05	10,346.00
SBC	23.88	257,108.00	SAMS	8.49	58,909.00	BT	4.04	6,455.00
MZQ _{vs}	44.67	195,356.00	BEBPE _{vs}	9.19	56,608.00	INU	5.04	938.00
AGUA	77.69	190,435.00	BMM	12.13	52,892.00	MAN	2.92	474.00
TUL	95.18	165,352.00	PZI	21.12	51,877.00	DESN	0.00	0.00
BE	14.86	148,966.00	BP	8.51	47,046.00	URBA	0.00	0.00

En el caso del fósforo, en la cuenca son retenidos anualmente 6,478.296 toneladas del contaminante, con un promedio general de 89.6 Kg/ha. Este SSAA se encuentra más relacionado con los asentamientos humanos (asociados con la actividad industrial) que con otros usos del suelo. Por este motivo, en la Figura IV.2.4-7 los valores máximos de este SSAA delimitan los asentamientos humanos, especialmente aquellos con mayor presencia de las actividades agropecuarias; dichas actividades se encuentran en los valores mínimos, y los píxeles con esa capacidad de retención también delimitan sus zonas de desarrollo.

Por ser el LULC que se presenta con mayor superficie alrededor de las manchas urbanas, nuevamente la AGR tiene la mayor retención total y la tercera más alta por hectárea del nutriente; en este caso, fósforo. En total, estas zonas agrícolas llegan a remover de los afluentes más de tres toneladas anuales de este nutriente, a razón de 133.9 kilogramos anuales por hectárea. Si se suma este tonelaje al removido por la agricultura en ciclo anual y la que ha sido abandonada, en conjunto estos tres LULC remueven prácticamente un 73% del nutriente. El Cuadro IV.2.4-3 expone la magnitud de la aportación anual de cada LULC a este SSAA en valores totales y en promedio por unidad de superficie.

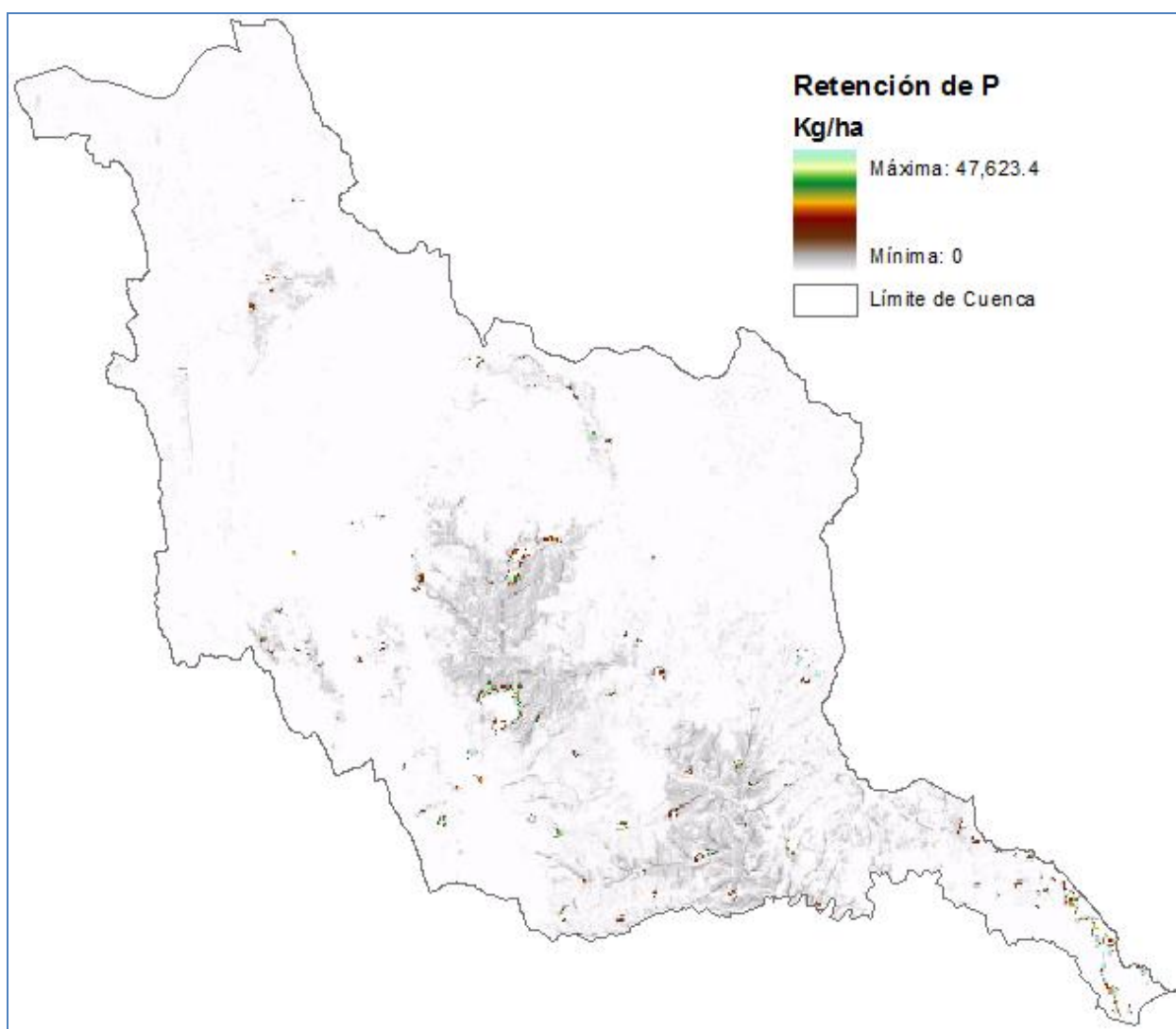


Figura IV.2.4-7. SSAA de remoción anual (Kg/Ha) del nutriente fósforo por los ecosistemas de la cuenca.

Cuadro IV.2.4-3. SSAA de retención anual de fósforo como contaminante en los ecosistemas de la cuenca.

LULC	Promedio (Kg/Ha)	Total (Kg)	LULC	Promedio (Kg/Ha)	Total (Kg)	LULC	Promedio (Kg/Ha)	Total (Kg)
AGR	133.91	3,155,048.04	SBC	22.66	34,105.58	BPE	6.00	8,074.22
AGTApzi	98.46	814,559.56	MSM	12.49	24,966.68	BEBPEvs	4.08	5,161.27
AGTA	86.54	758,047.87	BE	28.98	21,884.76	SAMS	14.72	4,483.21
AGUA	329.22	509,785.36	BMM	110.07	21,044.58	BP	4.49	2,863.70
TUL	445.62	419,752.91	SMSC	29.29	17,487.41	RIPA	17.66	2,597.18
SBCvs	61.27	262,623.54	MZQ1	28.35	15,607.73	BT	2.05	182.46
PZC	50.56	182,207.16	PZI	13.88	13,614.05	INU	2.54	181.66
MZQvs	31.96	70,010.94	QUE	5.67	9,612.97	MAN	0.26	4.41
SBEhzch	47.15	67,646.18	MDR	7.20	8,470.91	DESN	0.00	0.00
AGTP	13.08	39,937.62	PALM	19.42	8,333.66	URBA	0.00	0.00

Debe señalarse que este SSAA tiene la particularidad de que es el único de los estudiados cuya aportación biofísica (con excepción del suelo desnudo y el urbano) está relacionada inversamente con el nivel de conservación del ecosistema. [Bai et al. \(2011\)](#) encontraron una correlación inversa entre la biodiversidad y los SSAA de purificación de agua a través de retención de nitrógeno y fósforo. Esto es así debido a que los sitios

que más “trabajan” (funcionan) para producir este servicio, son también los más expuestos a degradación (Figura IV.2.4-8), al ser los que más contaminantes retienen.



Figura IV.2.4-8. Descarga de agua directo al río, proveniente de granjas de acuacultivo en sistema de *raceways*, en Gómez Farías. Aunque el sistema no precisa de fertilización ni alimento suplementario, la densidad amplificada de organismos aumenta el aporte de diversos nutrientes al ecosistema.

Por lo tanto, la vegetación más conservada tiende a ubicarse en los menores rangos de retención de nutrientes, especialmente las de las zonas montañosas, alejadas de las actividades humanas, y donde la pendiente es más pronunciada. Un caso que podría resultar contradictorio a esto fue el BMM, que obtuvo un promedio muy alto (el cuarto lugar) en cuanto a la retención de fósforo por hectárea, debido a que su puntuación más alta es de 4,566.04 Kg. No obstante, debe señalarse que sólo un pixel sumó este valor, el cual se ubica en las inmediaciones del Ejido San José (dentro de **El Cielo**); sin embargo, el 99.26% de la superficie de este ecosistema no alcanza 0.3Kg de retención de fósforo anuales, y en el 59.34% no existe retención de este nutriente.

Otro LULC que es importante de particularizar son los cuerpos de agua, donde el 0.95% de la superficie retiene el 95.4% del nutriente fósforo; en este caso, el pixel con más alto valor (24,520.44 Kg anuales) se ubica en la Laguna El Carpintero, dentro del municipio de Tampico.

Es importante señalar que, aunque en el presente estudio se evaluaron sólo el nitrógeno y el fósforo, otros contaminantes pueden analizarse mediante el modelo, siempre y cuando se tengan los parámetros de absorción por los LULC de la cuenca. Otros contaminantes acuáticos que han sido investigados en la región, y que pueden analizarse mediante el modelo son los reportados por [Rodríguez, et al. \(2009\)](#) quienes determinaron los niveles de níquel, vanadio y cobre en varios sitios de Tamaulipas; encontraron una correlación directa de la presencia de estos metales y la contaminación industrial en los municipios de Altamira, Ciudad Madero y Tampico.

El comportamiento de otros parámetros de contaminantes en los afluentes también son susceptibles de evaluarse, especialmente porque existen datos espaciotemporales en las redes fluviales mexicanas. Por ejemplo, se tiene que la Red Nacional de Monitoreo registra la calidad del agua principalmente en sitios “con alta influencia antropogénica”. Mide, además de indicadores biológicos, los parámetros fisicoquímicos de afluentes, como son la demanda química y la bioquímica de oxígeno, así como los sólidos suspendidos totales ([CONAGUA, 2011a](#)).

Hasta el año 2003, la CONAGUA estuvo midiendo los niveles de contaminación en los cuerpos de agua, través de los Índices de Calidad de Agua (ICA), que agrupan 18

parámetros fisicoquímicos (que, además de los mencionados, incluyen fosfatos totales y nitrógeno amoniacal), y toma valores de 0 a 100, este último indicando la mayor calidad (SEMARNAT, 2005). En el área de estudio, un estudio algo más reciente de este índice fue realizado por Rodríguez, *et al.* (2009) quien encontró que el ICA varió de 86 a 41 en toda la cuenca, y los sitios más contaminados fueron el río Mante y la desembocadura del Tamesí; estos sitios obtuvieron el menor índice ya que presentan la mayor actividad económica, y la consecuente generación de agua, principalmente por las manchas urbanas de Ciudad Mante, Tampico, Altamira y Ciudad Madero.

Finalmente, debe recalcar que los resultados de la presente investigación son con base en valores de carga crítica permitida, que es la información oficial, y que representa el umbral bajo el que no se causa daños ni a los ecosistemas ni a la salud humana. Debido a la escasa cobertura de tratamiento de aguas residuales (CONAGUA, 2011b, menciona que es del 69% en Tamaulipas), lo más probable es que en la realidad, en algunos sitios se esté excediendo la carga permitida, especialmente en los puntos de descarga de aguas residuales de las urbes principales, así como en las zonas agropecuarias e industriales cuya ubicación el modelo delinea con los valores más altos del SSAA.

IV.2.4.2. Valuación socioeconómica

El acceso al agua limpia, en calidad y cantidad suficientes, es un factor esencial para la salud adecuada de la población. En México, existe una relación inversa entre el aumento de cobertura de agua potable y sistemas de saneamiento de agua, contra la disminución en la tasa de mortalidad infantil por enfermedades diarreicas; desde el establecimiento del Programa de Agua Limpia en 1991, se pasó de una tasa 122.7 decesos de niños menores de cinco años por cada cien mil habitantes, a 11.8 en el año 2009 (CONAGUA, 2011b). Por lo tanto, cada uno de esos 110 niños que se han salvado de morir en los últimos 20 años, representa el valor intangible del agua limpia; es el beneficio que ha generado la inversión gubernamental en los sistemas de saneamiento.

En Tamaulipas, las inversiones hechas por la federación para cuestiones relativas al saneamiento de aguas domésticas (Cuadro IV.2.4-5) alcanzaron un total de 13.13 millones de euros (de 2011). Esto significa un valor *per cápita*, de acuerdo a la población beneficiada, de 8.52 € en ese año, que representa el valor socioeconómico mínimo de la inversión en estos sistemas.

Cuadro IV.2.4-5. Inversiones federales en cuestiones de saneamiento para Tamaulipas (CONAGUA, 2011b)

Programa	Año	Monto (M pesos)	Monto actual (€)	Población beneficiada (Datos de INEGI, 2010)		Monto (€) actual <i>per cápita</i>
Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas	2010	98.3	6,128,827.66	2'549,472	Localidades > 2500 habitantes	2.404
Asistencia Técnica para Mejora de la Eficiencia del Sector de Agua Potable y Saneamiento	2008	12	825,488.53	3'268,554	Total	0.253
Devolución de derechos	2010	40.4	2,518,867.12	3'268,554	Total	0.771
Construcción y Rehabilitación de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales	2010	58.7	3,659,839.10	719,082	Localidades < 2500 habitantes	5.090

Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA (2011b) e INEGI (2010)

El valor socioeconómico del servicio que el gobierno dio a la sociedad por concepto de programas de saneamiento de agua, no incluye los costos de las plantas de tratamiento ya instaladas. Aunque no se contó con información referente a los costos de construcción y arranque, la [CONAGUA \(2011b\)](#) reporta que dichas plantas cuentan con una capacidad total instalada (en los municipios de la cuenca) de 920.5 litros por segundo; si se restan las que drenan fuera de la cuenca y la que está fuera de operación, el caudal tratado es de 451.49 litros por segundo (el 49.05% de la capacidad).

Realizando las conversiones a valores anuales y multiplicando por el costo de remoción de fósforo y nitrógeno más bajo utilizado en el modelo (2.82 €/Kg), se obtiene que, con estos valores se deberían utilizar anualmente 49,605.3 €/habitante, o bien 2'695,293 €/ha para purificar de estos dos nutrientes el volumen de agua tratada en las plantas de la cuenca. No obstante, en el país sólo el 3.51% de las plantas en operación tienen capacidad para hacerlo a través de tratamientos terciarios; por lo que sólo se ejercen anualmente 1,741€ por habitante y 94,605€ por hectárea.

Por otra parte, [Godínez \(2007\)](#) estimó en el centro sur del país los costos y beneficios socioeconómicos para una planta de tratamiento de aguas residuales, con un valor de inversión de—y un mantenimiento anual de 0.7 millones de pesos. Si se calcula el costo para el primer año, donde se calcula tratar 41 millones de m³, se obtiene que la purificación de cada metro cúbico de agua costó 15.35 pesos (1.1 euros de 2011). Calculó que los beneficios por el establecimiento de dicha planta tienen un valor actual neto de los beneficios sociales 1,317'572,302 pesos (94'017,485 euros de 2011), que significan 137.42 euros/habitante al año (sirviendo a la población de Morelia de 2005) por concepto de disminución de costos de salud, incremento en el valor de los predios, incremento en el excedente agrícola y aprovechamiento del agua en la industria

Estas valuaciones son respecto a la potabilización y saneamiento del agua, llevadas a cabo por parte de las autoridades gubernamentales. Son los servicios prestados por la infraestructura establecida, para posteriormente compararse con la valuación de los prestados por los ecosistemas en la cuenca. Antes, se mencionan algunos ejemplos de valuación de este SSAA de saneamiento de agua por parte del ecosistema, comenzando con el muy conocido caso de Catskills.

[Sagoff \(2002\)](#) menciona que un grupo de científicos defendió la tesis de que la Ciudad de Nueva York podría asegurar el SSAA de purificación de agua si los terrenos de la cuenca Catskills se mantienen lo más silvestres posible, invirtiendo en su restauración y preservación. Esta inversión sería de apenas una quinta parte de los costos de una nueva planta de filtración, pero además el SSAA del ecosistema permitiría ahorrar “cientos de millones de dólares en costos anuales de mantenimiento, además de otros beneficios ecológicos y sociales en la región”.

En Zambia, (Turpie, *et al.*, 1999 EN [Emerton y Bos, 2004](#)) obtuvieron un valor de 11.5 millones anuales por el ciclaje de nutrientes, a razón de 9.46 por hectárea. Por su parte, Emerton, *et al.* (1999, EN [Emerton y Bos, 2004](#)) usaron técnicas de costos de reemplazo para valorar el SSAA de tratamiento de aguas contaminadas en humedales de Uganda. Estimaron un costo superior a USD \$2 millones anuales para contar con una

infraestructura de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales que provea el servicio a nivel similar al tratamiento por parte de los humedales

Del [Saz et al. \(2012\)](#) determinaron en 2010 el valor de un aumento en la calidad de agua de un río en el oriente de España, utilizando el método de valoración contingente. Encontraron que, para que la calidad del agua sea apta para el baño, pesca y actividades recreativas en sus alrededores, el 66% de la muestra tienen una **WTP** de 6 € anuales (el valor más bajo), a través de un aumento a su recibo de consumo doméstico. El 47% tienen una **WTP** de 60 € anuales. Encontraron un valor total de **WTP** por familia al año de 108.46 €, que si se traslada al total de la cuenca, multiplicándolo por el número de familias y dividiéndolo por la superficie resulta que el valor socioeconómico del agua limpia para la comunidad en su área de estudio es de 101.415 €/Ha año. No obstante, es necesario aclarar que la calidad de agua estudiada por dichos autores no es para los estándares de provisión mencionados por la [EEM \(2005\)](#), y contemplados por el modelo aplicado en el presente trabajo.

Por su parte, UAES (1997 EN [de Alba y Reyes, 1998](#)) estimó que, por cada hectárea de bosque y selva que se deforesten en México, se genera un costo de 160 **USD** (253.3 euros a 2011) por tratamiento de agua.

En el área de estudio, el valor socioeconómico del SSAA de purificación de agua es de 35'229,200 euros/año, por concepto de retención de nitrógeno y fósforo, estimados para el año de 2011. En promedio, el valor por hectárea es de 181€/año de acuerdo al LULC y 188 de acuerdo al municipio; sin embargo, debe señalarse que, al ser este un modelo que acumula valores a través del flujo de la carga de nutrientes, el rango de valoración es muy amplio, con un máximo de 231,320 euros para un solo pixel (cuyo vecino alcanza poco más de 162,002, sitio donde más SSAA acumula) y mínimos de menos de un euro o cero (en los primeros pixeles flujo arriba). Sin embargo, debe señalarse que son valores muy altos, debido a que la remoción artificial de los nutrientes analizados se produce a través de tratamientos tipo "terciarios", que requieren de tecnología más avanzada que para otros contaminantes ([Rojas, 2002](#)), la cual resulta muy cara.

La distribución espacial del valor mínimo anual que este SSAA presta a la sociedad de la cuenca se observa en la Figura IV.2.4-9. Se debe enfocar la atención a que la mayoría de la superficie en el área de estudio (46.9%) contribuye con valores de un rango de uno a cincuenta euros por hectárea, pero que sólo participa con el 17.03% del valor total. En el extremo, los sitios con más de mil € anuales por hectárea aportan casi 26% del total, pero ocupan una superficie de apenas el 0.13% de la cuenca. En el inserto de la Figura, se resaltan dos pixeles de AGR, que sumados dan un valor de casi 340 mil euros; mientras que los primeros cinco (cuatro de AGR y uno de TUL) son el 0.003% de la superficie y suman más de 725.6 mil €, que representa más del 2% del valor anual del SSAA en la cuenca.

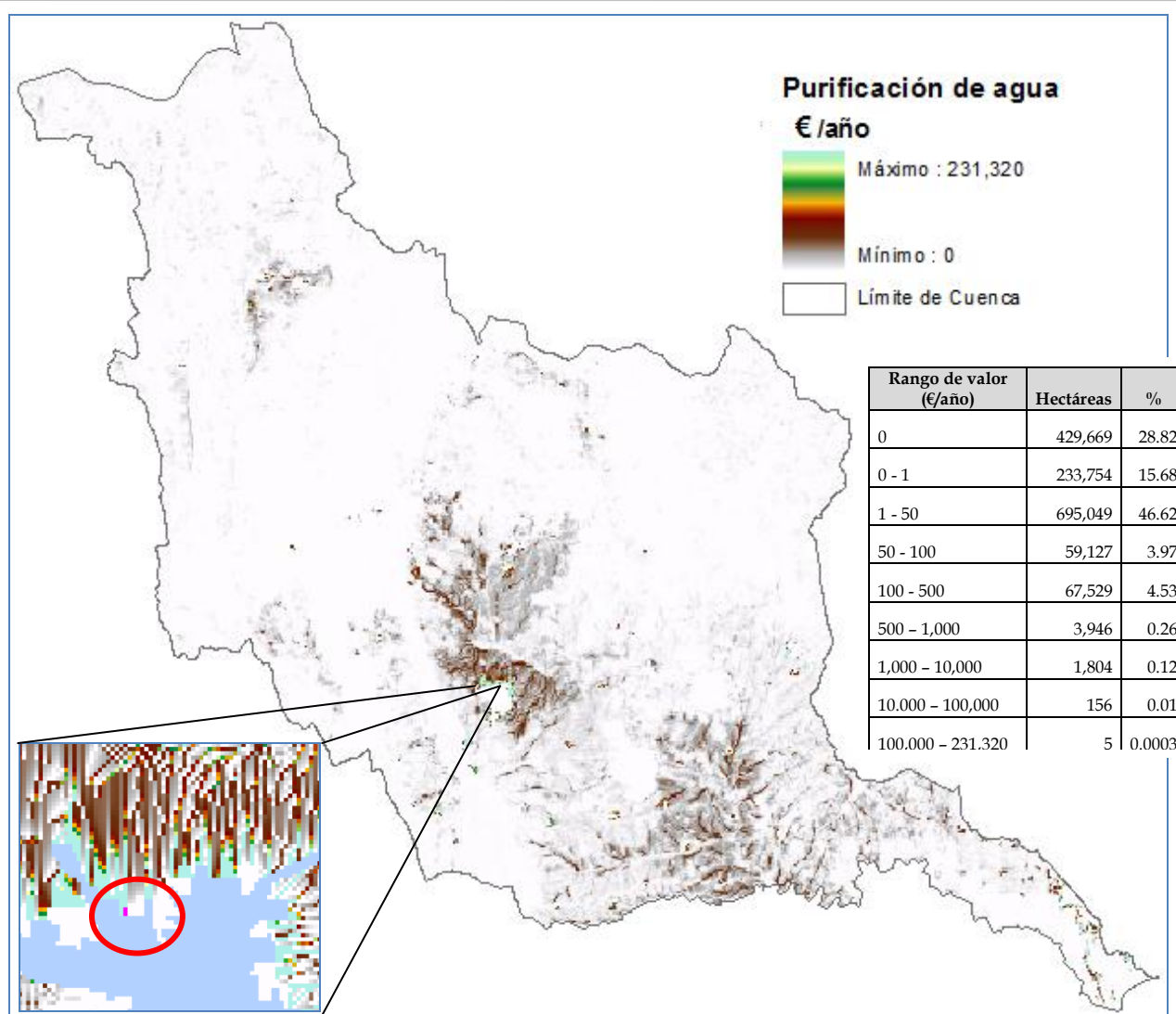


Figura IV.2.4-9. Distribución espacial del valor del SSAA de purificación de agua por retención de nitrógeno y fósforo. En el inserto se señala con rojo los dos píxeles con mayor valor (en celeste la mancha urbana de Cd. Mante, cuyo valor del SSAA es nulo). El cuadro refiere los rangos de valor y su superficie.

Si se disgrega el valor de acuerdo con los ecosistemas de la cuenca, se observa una dependencia directa con su nivel de producción del SSAA. Por lo tanto, los de mayor aportación son en su mayoría los LULC antropogénicos relacionados principalmente con suelos agrícolas, como se muestra en el Cuadro IV.2.4-6. Destaca la AGR con 17.9 millones de euros anuales, debido a su extensión y su alto valor del SSAA por hectárea, seguida lejos por los terrenos bajo otros regímenes agrícolas, así como la cobertura secundaria de la SBC, tulares y cuerpos de agua. La AGTP no entra en este rango de valores, debido a que su territorio es sensiblemente menor que el de otros sistemas agrícolas.

Valores intermedios son aportados principalmente por los bosques, selvas y matorrales de cobertura amplia; mientras que los más bajos provienen de los LULC de menor superficie relativa.

Por otra parte, se distribuyó el valor socioeconómico de este SSAA en los territorios municipales y se comparó con su respectivo presupuesto para el año de evaluación. Los resultados de este análisis se muestran en el Cuadro IV.2.4-7. La posición que ocupan los municipios en el rango depende de su proporción territorial dedicada a los usos de

suelo que emiten mayores cantidades de contaminantes, así como de los LULC adyacentes con más alta capacidad de retenerlos.

Cuadro IV.2.4-6. Valor socioeconómico anual mínimo de los LULC de la cuenca, de acuerdo con su servicio de purificación de agua por retención de los nutrientes nitrógeno y fósforo.

LULC	Promedio €/Ha año	€/ año	LULC	Promedio €/Ha año	€/ año	LULC	Promedio €/Ha año	€/ año
AGR	300.81	17'917,733.58	SMSC	48.45	246,603.70	BEBPEvs	15.55	88,195.42
AGTApzi	192.91	4'390,916.86	BE	42.34	222,241.50	BP	16.83	83,491.94
AGTA	154.39	4'027,523.59	BPE	25.15	207,957.56	PALM	41.41	69,481.39
SBCvs	180.96	1'756,994.49	MSM	39.99	198,520.12	QUE	19.43	64,228.45
AGUA	509.01	1'601,732.72	BMM	92.13	161,003.92	RIPA	78.56	17,272.69
TUL	717.20	1'329,971.54	AGTP	38.52	158,215.37	BT	6.75	10,862.30
PZC	112.01	1'073,803.05	MZQ1	96.18	107,186.27	INU	8.43	1,718.58
MZQvs	92.02	483,296.88	PZI	36.84	101,347.88	MAN	3.92	644.98
SBEhzh	97.27	363,197.90	MDR	33.61	98,498.72	DESN	0.00	0.00
SBC	42.60	357,771.32	SAMS	21.20	88,788.36	URBA	0.00	0.00

Cuadro IV.2.4-7. Valor socioeconómico anual mínimo aportado por el territorio de cada municipio, por su servicio de purificación de agua por retención de los nutrientes nitrógeno y fósforo, y su relación con el presupuesto municipal para el año 2011 publicado por [SecGen_Tam \(2010a, b, c\)](#).

Municipio	Valor anual			Relación SSA :Presupuesto	
	Total (€/año)	Promedio (€/Ha año)	Promedio (€/Hab. año)	€/ Ha año	€/ Habitante año
El Mante	12'342,655.94	316.74	106.59	4.506	1.034
González	7'635,676.00	188.29	248.06	14.486	2.373
Altamira	3,120,963.58	256.66	37.80	1.293	0.242
Xicoténcatl	2'800,285.14	133.43	122.48	3.899	0.977
Gómez Farías	2'156,244.42	168.39	245.42	4.846	1.435
Jaumave	1'787,527.87	106.38	118.34	22.615	1.388
Ocampo	1'032,450.49	90.63	91.35	7.113	0.528
Antiguo Morelos	997,258.21	149.89	117.12	5.162	0.647
Tampico	985,689.10	954.91	3.32	0.209	0.023
Llera	976,560.74	74.49	59.26	6.001	0.359
Ciudad Madero	781,260.80	4,316.20	3.96	0.743	0.029
Palmillas	242,128.85	42.27	135.19	2.151	0.255
Miquihuana	155,010.30	26.91	748.84	2.338	2.165
Tula	67,871.05	14.97	55.05	1.047	0.347
Casas	53,935.78	16.82	382.52	3.713	1.299
Victoria	51,594.18	16.51	10,318.84	0.105	137.045
Güémez	25,534.28	12.94	311.39	0.691	2.161
Bustamante	16,405.99	24.88	1,640.60	1.768	6.840
Aldama	84.68	2.07	*	0.199	*
Nuevo Morelos	62.54	3.26	*	0.089	*

* Aldama y Nuevo Morelos no tienen habitantes en la cuenca. Los municipios escritos en color morado tienen menos del 40% de su territorio dentro de la cuenca.

Por esas razones, los municipios más antropizados y con grandes extensiones de AGR son también los que más beneficio reciben por concepto de este SSAA. Destaca en primer sitio El Mante, con más de 12.3 millones de euros anuales, cuyos ecosistemas benefician a cada uno de sus pobladores con un promedio de casi 106.6 €/año por concepto de agua limpia. Los habitantes de González y de Gómez Farías son los que más beneficio reciben por este concepto, con 248 y 245 € anuales por persona, respectivamente.

Tampico y Ciudad Madero son los más urbanos, con mayor densidad poblacional, por lo que a pesar de contar con los mayores valores por hectárea, sus habitantes son los que menos aportación reciben por concepto de este SSAA; además, son aquellos donde este SSAA representa el menor porcentaje del presupuesto municipal por hectárea y por habitante (en Victoria, la relación por hectárea es la menor de todas, pero su territorio y su población en la cuenca son poco significativos).

En comparativa, el “gasto” de los ecosistemas para proveer de agua limpia a sus habitantes es casi 200 veces menor (comparando al valor de González) que el que emplea el gobierno usando plantas de tratamiento, que procesan sólo el 3.5% del agua residual. Por hectárea, el ecosistema “invierte” 625 veces menos (comparando al valor de Ciudad Madero) que el gobierno en este servicio.

Es importante recalcar esta comparativa se realizó sobre las capacidades del ecosistema *versus* las de plantas de tratamiento. El valor del servicio de purificación no se calcula a partir de lo que procesa, sino a partir de la “capacidad instalada” natural o artificial. Por supuesto que algunas veces y en algunos sitios la capacidad de purificación es rebasada por el influjo de agua, aunque es más probable que la mayor parte de las ocasiones no se ocupe el total de la capacidad de remoción. Independientemente de si se usa o no, el valor del servicio sólo cambia cuando se afecta la *infraestructura* de limpieza, que en los ecosistemas equivaldría a remover la cobertura vegetal.

Por lo tanto, debe tenerse en cuenta que la EEM (2005b) advierte que no es posible aplicar las estrategias para los recursos hídricos a menos que se consideren algunos factores de cambio, entre los que incluyen la disminución de la carga de nutrientes y promover la participación ciudadana para una adecuada toma de decisiones.

IV.2.5. La belleza escénica (paisajística): contribución a la economía local por factibilidad para actividades turísticas y recreativas.

“Entre la niebla mi ciudad se pierde, y yo me encuentro. Desaparece la cercana sierra en un sueño de bruma, y la alta catedral se vuelve una silueta que en desconcierto buscan las palomas. Los árboles de la Alameda son una vaga melodía de Debussy; la tarde se diría escrita por Verlaine. En esa bruma me hallo, y me hallo bien. El sol anda por otras partes. Que le vaya bien. Yo ando entre nubes. En ellas ando siempre, por eso el paisaje me resulta familiar. Oigo voces venidas de muy lejos, y no les doy respuesta porque a mí me gustan las voces venidas de muy cerca. No ha llegado la tarde todavía. Quizá no encuentra su camino. Cuando llegue yo la estaré esperando -y a la noche también- aquí en la bruma. **Quien conoce el paisaje, y lo ama, lo puede mirar aun entre la niebla.**”

Armando FUENTES AGUIRRE. (en prensa, <http://eldiariodevictoria.com.mx/2011/09/20/33236/>)

El párrafo anterior es un claro ejemplo de que el paisaje es capaz de “elevar” el espíritu humano” por la percepción de la belleza estética y la estimulación intelectual (Boyd y Banzhaf, 2007). Este es el principal estímulo que lleva a las personas a buscar sitios con elementos paisajísticos naturales, ya existe una cierta predisposición afectiva hacia un paisaje con elementos naturales, que produce un efecto relajante y tranquilizador (De la Fuente, *et al.*, 2004a). Para conocer las preferencias paisajísticas de la población en la cuenca e ingresarlas al modelo biofísico de este SSAA, se aplicó una encuesta cuyos resultados se muestran y discuten a continuación.

IV.2.5.1.- Resultados de la encuesta

a) Características de la población muestreada.

La muestra no puede considerarse representativa de los habitantes de la cuenca, ya que sólo se obtuvieron 140 encuestas de una población de poco más de un millón 330 mil habitantes (INEGI, 2010); esto debido a que, como se mencionó en la metodología, no fue posible aplicarlas en los municipios rurales por cuestiones de seguridad personal; no obstante, como se verá en su momento, los respondientes mencionaron y valoraron sitios y paisajes distribuidos por varias partes de la Cuenca.

Ahora bien, el 70.7% de la muestra son residentes de tres municipios: Mante (44.3%), Xicoténcatl (13.6%) o Victoria (12.9%); el resto en 18 lugares de la Cuenca y dos en el extranjero. Son originarios de 37 sitios diferentes, tanto de la cuenca (67.9%), de otros municipios tamaulipecos (14.3%), de otros estados del país (15%) y de dos países extranjeros. Además, el 53.6% conoce la cuenca porque nació y creció en ella, el 18.6% la visita frecuentemente, el 12.9% la visita poco, algunos porque llevan más de dos años viviendo ahí (5.7%) y un 8.36% la conoce más bien por internet u otros medios.

Debido a que se aplicó en varias aulas de estudiantes de bachillerato, el 46.4% de los encuestados son menores de edad, 38.6 son adultos jóvenes (18 a 40), 12.1 tienen de 41 a 60 y dos son adultos mayores; en su mayoría (80.7%), son estudiantes (desde bachillerato hasta doctorado), aunque la mitad poseen un grado mínimo de estudios universitarios, 33.6% tienen grado de maestría y dos de doctor; cinco de ellos manifestaron que también se encuentran trabajando. De las treinta personas restantes, dos son jubilados, una ama de casa, un sacerdote, un publicista, tres directivos, seis funcionarios y diez profesores (uno de primaria); dos personas son consultores privados, pero otros dos (un profesor y un directivo) también se dedican a esta actividad.

Un dato que podría pasar por superfluo, pero que puede ser un indicador de la accesibilidad a estrategias de educación y sensibilización ambiental, es el uso de herramientas de comunicación, como el correo electrónico en este caso. El 75% de los encuestados facilitaron este dato. Ellos representan un 80% del grupo de los más jóvenes; mismo valor que obtuvo el grupo de hasta 40 años.

b) Preferencias paisajísticas: sitios y atributos

Se le solicitó a la población muestreada que señalara tres *diferentes* sitios de la cuenca para cada una de las siguientes categorías: a) excepcionalmente valiosos, b) valiosos, pero degradados y c) degradados. Además, anotaron las cualidades (valores o antivalores, en su caso) con que cuenta cada uno de los sitios para haberlos considerado como tal. Este grupo de preguntas fue aplicado con el objeto de posicionar en el mapa los sitios mencionados, y obtener las cualidades de percepción con que los valoran. Como el 42.3 % de la muestra son residentes de El Mante, se debe tomar en cuenta que la preferencia por determinados paisajes sobre otros se basa en las características de quien lo percibe, de carácter biológico, social y personal, así como su reacción ante el simbolismo de los elementos escénicos (Berlández, 1958 y Bourassa, 1990 EN [De la Fuente, et al., 2004a](#)).

Como excepcionalmente valiosos, fueron indicados 71 lugares (cuatro fuera de la cuenca) seis de los cuales fueron mencionados por el 55 al 80% de la muestra, como se observa en el Cuadro IV.2.5-1. Es necesario resaltar que cuatro de estos seis sitios (El Nacimiento, la Poza Azul, La Servilleta, La Florida) incluyen dentro de sus atributos paisajísticos elementos de agua y vegetación arbórea, los que diferentes autores señalan como las más apreciadas (Ulrich, 1981 y otros EN [Real, et al., 2000](#); [De la Fuente, et al., 2004a](#)).

Cuadro IV.2.5-1.- Sitios excepcionalmente valiosos, mencionados en:
Primer lugar (80.3% de la población muestreada)

SITIO	No. de menciones	% del total	SITIO	No. de menciones	% del total
El Cielo	67	48.91	Cerro del Bernal	8	5.84
El Nacimiento (Mante)	14	10.22	La Servilleta	6	4.38
Poza Azul	12	8.76	La Florida	3	2.19

Segundo lugar (64.3% de la población muestreada)

SITIO	No. de menciones	% del total	SITIO	No. de menciones	% del total
El Cielo	35	25.00%	Cerro del Bernal	9	6.43%
El Nacimiento (Mante)	16	11.43%	La Florida	9	6.43%
Poza Azul	16	11.43%	La Servilleta	5	3.57%

Tercer lugar (55.7% de la población muestreada)

SITIO	No. de menciones	% del total	SITIO	No. de menciones	% del total
El Nacimiento (Mante)	19	13.57%	Poza azul	12	8.57%
El Cielo	18	12.86%	Cerro del Bernal	9	6.43%
La Florida	14	10.00%	La Servilleta	6	4.29%

La Reserva de la Biósfera “**El Cielo**” (incluyendo sitios específicos, como Gómez Farías o San José, que tuvieron de una a tres menciones), fue reconocida en la primera mención por casi la mitad de los encuestados; además, un sitio específico de la misma, conocido como “La Poza Azul”, fue mencionado en más de diez, por lo que fue conteado aparte. El Nacimiento (del río Mante, Figura IV.2.5-1) destaca con poco más del 10% de las menciones en los tres lugares.

La reacción ante los elementos simbólicos del paisaje referida por Berlández (1958) y Bourassa (1990) (ambos EN [De la Fuente, et al., 2004a](#)) fue expresada en la encuesta a través de las cualidades de los sitios mencionados (Cuadro IV.2.5-2), pues esas palabras son la manifestación de por qué esos sitios son valiosos para ellos; dichas cualidades fueron clasificadas como atributos del ecosistema o de la percepción del encuestado.

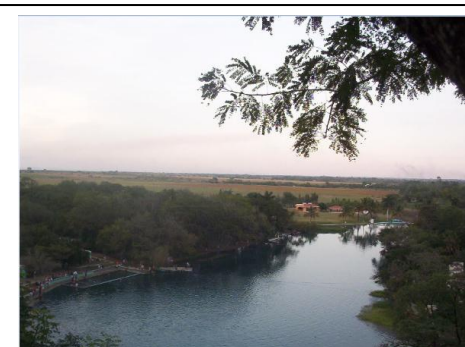


Figura IV.2.5-1. Vista de El Nacimiento del río Mante.

Cuadro IV.2.5-2.- Palabras más mencionadas como cualidades de los sitios excepcionalmente valiosos.

Palabras mencionadas	No.	% del total	Atributo de	% del Top
Agua	139	19.04	Ecosistema	22.90
Vegetación	109	14.93	Ecosistema	17.96
Limpieza	106	14.52	Percepción	17.46
Paisaje	77	10.55	Percepción	12.69
Belleza	61	8.356	Percepción	10.05
Turismo	35	4.795	Percepción	5.77
Biodiversidad	29	3.973	Ecosistema	4.78
Fauna	21	2.877	Ecosistema	3.46
Clima	11	1.507	Ecosistema	1.81
Panorama	8	1.096	Percepción	1.32
Natural	6	0.822	Percepción	0.99
Identidad	5	0.685	Percepción	0.82

Menciones	No. palabras
Totales	730
"Top" (>5)	607

Atributo de	% del Top
Ecosistema	50.91
Percepción	49.09

Prácticamente la mitad de las cualidades mencionadas son atributos del ecosistema, mientras que la otra parte forman parte de la percepción humana de su hábitat; esto resulta significativo, ya que concuerda con lo referido por [Chan et al. \(2011\)](#), respecto a que los SSAA de un paisaje son "co-producidos" por el ecosistema y por el ser humano, en cuanto a percepción y a las facilidades para hacer uso de dichos servicios.

Por otra parte, las palabras más mencionadas son "agua" y "vegetación", lo que coincide con lo señalado por autores como Ulrich, (1981) y otros ([EN Real, et al., 2000](#); [De la Fuente, et al., 2004a](#)), en cuanto a que dichos atributos son los más apreciados por la gente al observar un paisaje. Una valoración similar hecha por [Flores et al. \(2008\)](#) para un área protegida en España arrojó que el principal atractivo para visitarla era precisamente el "agua para el baño", para el 61% de los encuestados. Las siguientes cualidades más mencionadas corresponden a la percepción de los individuos; dentro de éstas, mencionan en primera instancia la limpieza, lo que hace más valioso un paisaje con agua y vegetación, de acuerdo con [De la Fuente, et al. \(2004a\)](#). En cuanto al atributo de la belleza, [Panagopoulos \(2009\)](#), refiere que es una cualidad que causa placer y puede llevar a sentir bienestar emocional, muchas veces por la interpretación de elementos que se encuentran en balance y armonía con la naturaleza, como lo son precisamente el agua y la vegetación sana.

Por otro lado, 71 sitios valiosos, pero con signos (cualidades) de degradación fueron mencionados por los encuestados. Aunque el número total es similar al de los sitios

excepcionalmente valiosos, cabe destacar que en este caso, los que obtuvieron un mayor número de menciones (Cuadro IV.2.5-3) son más diversos que los anteriores; no obstante, de los tres más mencionados, dos son sitios naturales y uno es antropogénico y se describen con posterioridad. Además, se mantiene la tendencia de ir disminuyendo el porcentaje de la población que señala los mismos sitios cinco o más veces, en este caso pasa de 60.1 a 46.4% entre el primer y tercer lugar de la mención.

Cuadro IV.2.5-3.- Sitios valiosos pero degradados, mencionados en:

Primer lugar (60.71% de la población muestreada: cinco o más menciones)

SITIO	No. de menciones	% del total	SITIO (s)	No. de menciones	% del total
La Aguja	39	27.86	Nacimiento Mante, Valle del Mamut	7 cada uno	5 cada uno
Playitas Limón	8	5.71	Castillo N. Apolonia	6	4.29
El Recodo	8	5.71	Presa E. Portes G., El Cielo (Altacima, Gómez Farías, Bocatoma, V. Ovni)	5 cada uno	3.57 cada uno

Segundo lugar (57.14% de la población muestreada: cinco o más menciones)

SITIO	No. de menciones	% del total	SITIO (s)	No. de menciones	% del total
La Aguja	20	14.29	Playitas Limón	7	5.00
Castillo N. Apolonia	14	10.00	El Recodo, Valle del Mamut	6 cada uno	4.29 cada uno
La Servilleta	12	8.57	Cueva El Abra, El Peñón (El Encino), Cueva Quintero	5 cada uno	3.57 cada uno

Tercer lugar (46.43% de la población muestreada: más de cinco menciones)

SITIO	No. de menciones	% del total	SITIO	No. de menciones	% del total
Castillo N. Apolonia	22	15.71	La Aguja	9	6.43
El Recodo (Xicot.)	11	7.86	Presa E. Portes G.	7	5.00
Cueva Quintero	10	7.14	Río Mante	6	4.29

Entre los sitios que la población calificó como valiosos, pero degradados, destaca en primera instancia la presa del río Mante, conocida como la Aguja (Figura IV.2.5-2), señalada en los tres lugares y un total de 68 menciones; la población la calificó con 16 atributos, doce de los cuáles fueron referencias negativas y cuatro positivas; no obstante, el agua (limpia) -un atributo "positivo"- fue la más señalada (37 veces), seguido de la "soledad" (12 veces) que podría ser un atributo positivo si aludiera a "tranquilidad", pero en el contexto de inseguridad (palabra mencionada dos veces) que prevalece en la zona, se entiende como algo negativo. Los otros factores positivos fueron "vegetación", "belleza" y "paisaje", mientras que los negativos fueron "contaminación", "basura", "suciedad", "falta de mantenimiento" (con dos o más alusiones), entre otras.



Figura IV.2.5-2. Vista de la presa La Aguja

El Castillo de Nueva Apolonia (Figura IV.2.5-3), en el municipio de El Mante, fue mencionado también en los tres lugares, con un total de 42 referencias. Se trata de una construcción semiabandonada que semeja un castillo medieval español que data del porfiriato; sitio de hechos heroicos para Tamaulipas y única en su tipo que permanece en el sur del estado (Meade, S.F., citado por Lacaille, 2011?, en <http://www.mexicodesconocido.com.mx/castillo-de-nueva-apolonia-tamaulipas.html>). La población muestreada manifestó esos



Figura IV.2.5-3. El Castillo de Nueva Apolonia, municipio de El Mante.

valores y lo que le afecta negativamente, calificando a este sitio con 14 atributos, ocho negativos y seis positivos/neutros. Al igual que en el caso de La Aguja, el mayor número de menciones fue para un atributo positivo: “belleza del paisaje” (18 en esa forma y además cinco sólo para “belleza” y cuatro sólo para “paisaje”); dentro de los atributos negativos se mencionaron cinco veces “descuido”, cuatro “falta de mantenimiento” y el resto (presencia de maleza, abandono, olvido, subvaluado, deterioro y soledad) sólo obtuvieron una mención. Atributos neutros como el contexto

histórico (cuatro referencias) y la “cultura” (dos referencias) fueron también señalados. Cabe mencionar que, según varias fuentes oficiales citadas por Núñez (2012, en prensa: <http://www.elecodealmante.com/2012/?p=1180#.UZpItrVRu3w>), actualmente existe un proyecto de rescate de edificios históricos, en el cual se encuentra incluido.

El Recodo (un sitio en el río Guayalejo), también fue referido en los tres lugares, sumando un total de 25 menciones. En este caso, doce tributos fueron usados: cinco negativos y siete positivos. Resalta que las palabras más mencionadas fueron positivas: agua limpia (7 veces), paisaje (6), belleza y belleza del paisaje (3 cada una); en el contexto negativo, se encontraron dos menciones de las palabras “soledad” y “suciedad”; “descuido”, “inseguridad”, “basura” “balneario”, “vegetación” y “libertad” fueron señaladas una vez cada una.

En general, para calificar los lugares que reconocen como valiosos, pero que se encuentran degradados, la población señaló un total de 461 palabras agrupadas en 84 atributos (Cuadro IV.2.5-4).

Cuadro IV.2.5-4.- Palabras más mencionadas como atributos de los sitios valiosos pero degradados.

Palabras mencionadas	No.	% del total	Atributo de	% del Top
Agua (limpia)	98	21.26	ecosistema	27.37
Belleza natural/ paisaje/panorama	44	9.54	percepción	12.29
Contaminación de... (TODAS: 6)	31	6.72	percepción	8.66
Vegetación	30	6.51	ecosistema	8.38
Soledad	27	5.86	percepción	7.54
Paisaje	24	5.21	percepción	6.70
Belleza	17	3.69	percepción	4.75
Falta de... (TODAS:7)	17	3.69	percepción	4.75
Suciedad/sucio	17	3.69	percepción	4.75
Descuidado/descuido	14	3.04	percepción	3.91
Basura/ alrededor	10	2.17	percepción	2.79
Falta mantenimiento	9	1.95	percepción	2.51
Inseguridad	8	1.74	percepción	2.23
Historia/histórico	6	1.30	percepción	1.68
Turismo (eco/ playa/turístico)	6	1.30	percepción	1.68

Menciones	No. palabras
Totales	461
“Top” (>5)	358

Atributo de	% del Top
Ecosistema	35.75
Percepción	64.25

En este caso, los encuestados señalaron más atributos relativos a la percepción que a los elementos naturales; no obstante, estos últimos son los más mencionados, destacando que poco más del 30% de los atributos fueron para “agua” (limpia) y paisaje (panorama). Atributos contrarios al que implica limpieza (percepción que señalaron los encuestados para los sitios extraordinariamente valiosos) obtuvieron en conjunto 12.6%: contaminación, suciedad y basura; por lo tanto, corrobora la idea de [De la Fuente, et al. \(2004a\)](#), en cuanto a que un paisaje bien valorado por las personas contiene agua y vegetación, pero es aún más valioso cuando se encuentra limpio. Estos resultados son coherentes con la clasificación inicial de esta categoría de sitios: “valiosos, pero degradados”.

Finalmente, 75 sitios fueron calificados como degradados. En este caso, cabe señalar que, con excepción del Río Guayalejo, La Poza Madre, El Recodo y la presa Emilio Portes Gil, todos los lugares señalados cinco o más veces (Cuadro IV.2.5-5) se encuentran en el municipio de El Mante.

Cuadro IV.2.5-5.- Sitios señalados como degradados, mencionados en:

Primer lugar (56.43% de la población muestreada: cinco o más menciones)

SITIO	No. de menciones	% del total	SITIO	No. de menciones	% del total
Río Guayalejo	39	27.86	La Difusora	6	4.29
Río Mante	21	15.00	La Aguja	5	3.57
Poza Madre	8	5.71			

Segundo lugar (46.43% de la población muestreada: más de cinco menciones)

SITIO	No. de menciones	% del total	SITIO (s)	No. de menciones	% del total
Castillo N. Apolonia	22	15.71	La Aguja	9	6.43
El Recodo	11	7.86	P. E.P. Gil	7	5.00
Cueva Quintero	10	7.14	Río Mante	6	4.29

Tercer lugar (39.29% de la población muestreada: cinco o más menciones)

SITIO	No. de menciones	% del total	SITIO	No. de menciones	% del total
Río Mante	20	14.29	Playitas Limón	10	7.14
R. Comandante	15	10.71	Poza Madre	10	7.14
Río Guayalejo	11	7.86	La Aguja	5	3.57

El río Mante y La Aguja fueron señalados en los tres lugares de la encuesta, con un total de 47 menciones el primero y 19 el segundo. Es necesario aclarar que el río nace en un lugar conocido como El Nacimiento (señalado como excepcionalmente valioso y como valioso pero degradado) y la Aguja es la presa derivadora de dicho río. A partir de este sitio, el afluente pierde gran parte de su caudal natural, que es desviado hacia el sistema de riego de la región; y conserva su vegetación riparia casi en su totalidad, hasta llegar a la mancha urbana de Ciudad Mante, donde ha sido talada. A su paso por esa zona el río se encuentra altamente degradado debido a los residuos domésticos (sólidos y líquidos) que la gente arroja directamente al caudal, aunado a los aguas residuales provenientes del ingenio azucarero que hace menos de una década comenzaron a recibir tratamiento para ser liberadas a este caudal, poco antes de unirse a la corriente del río Guayalejo. A este mismo río son arrojadas las aguas residuales del ingenio de Xicoténcatl, casi a la

misma altura de las provenientes de Mante. Por esas razones, las personas también lo consideran en esta categoría de sitios degradados.

En cuanto a los motivos para que las personas encuestadas consideraran los sitios como degradados, fueron referidas 551 palabras, casi todas (97% de las más mencionadas) atributo de la percepción (Cuadro IV.2.5-6).

Cuadro IV.2.5-6.- Palabras más mencionadas como atributos de los sitios degradados.

Palabras mencionadas	No.	% del total	Atributo de	% del Top
Contaminación	221	40.11	percepción	42.83
Basura/basurero/escombro	184	33.39	percepción	35.66
Industrial	55	9.98	percepción	10.66
Suciedad/sucio/a	15	2.72	percepción	2.91
Agua: residual/sucia/basura/estancada	8	1.45	ecosistema	1.55
Cambio de uso de suelo: /reemplazo/deforestación /desmonte	7	1.27	ecosistema	1.36
Falta (respeto, cuidado, mantenimiento)	6	1.09	percepción	1.16
Mal olor	5	0.91	percepción	0.97
Desechos	5	0.91	percepción	0.97
Turismo: gestión, promoción	5	0.91	percepción	0.97
Ganadero	5	0.91	percepción	0.97

Menciones	No. palabras
Totales	551
"Top" (>5)	516

Atributo de	% del Top
Ecosistema	2.91
Percepción	97.09

La palabra "contaminación" fue el atributo más mencionado, con poco más del 40% de las palabras totales; se utilizó referida principalmente a desechos sólidos e industriales, aunque en algunas menciones se señalaba a la del agua o de característica urbana. Como palabra, la "basura" (desechos sólidos) ocupó 33.4% del total, señalando así que los sitios son percibidos como degradados principalmente por la "contaminación" y basura que la gente (donde podría incluirse el "turismo") deja por "falta" (de "respeto") y que por "falta" la de "cuidado" o "mantenimiento" disminuye la calidad paisajística de los lugares.

Los parajes con agua no limpia ("residual", "sucia", "estancada") o que han sido desprovistos de su vegetación original (por deforestación o cambio a ganadería o agricultura) destacaron como los atributos del ecosistema que más señalaron los encuestados como características de degradación. No obstante, estos atributos son producto de un uso/manejo inadecuado de los ecosistemas, lo que hicieron notar algunas personas al referirse (además del uso del suelo) a una gestión inapropiada del turismo o de las actividades agropecuarias.

c) Preferencias paisajísticas: experiencias sensoriales/ espirituales.

Por otra parte, para obtener cualidades de experiencias sensoriales/espirituales que no fueron solicitadas en la encuesta, se publicó en la red social Facebook™ una fotografía de La Bocatoma, dentro de la Reserva de la Biósfera de **El Cielo** (Figura IV.2.5-4), considerado como uno de los sitios más carismáticos de la cuenca. Esta imagen fue seleccionada de forma que cumpliera con los estándares de alta calidad estética, donde se conjuntan agua limpia y vegetación arbórea verde, que son mencionados por diversos autores (Ulrich, 1981 y otros EN Real, *et al.*, 2000; De la Fuente, *et al.*, 2004a) y "enmarcado" (De la Fuente, *et al.*, 2004a) como los más valorados por las personas.

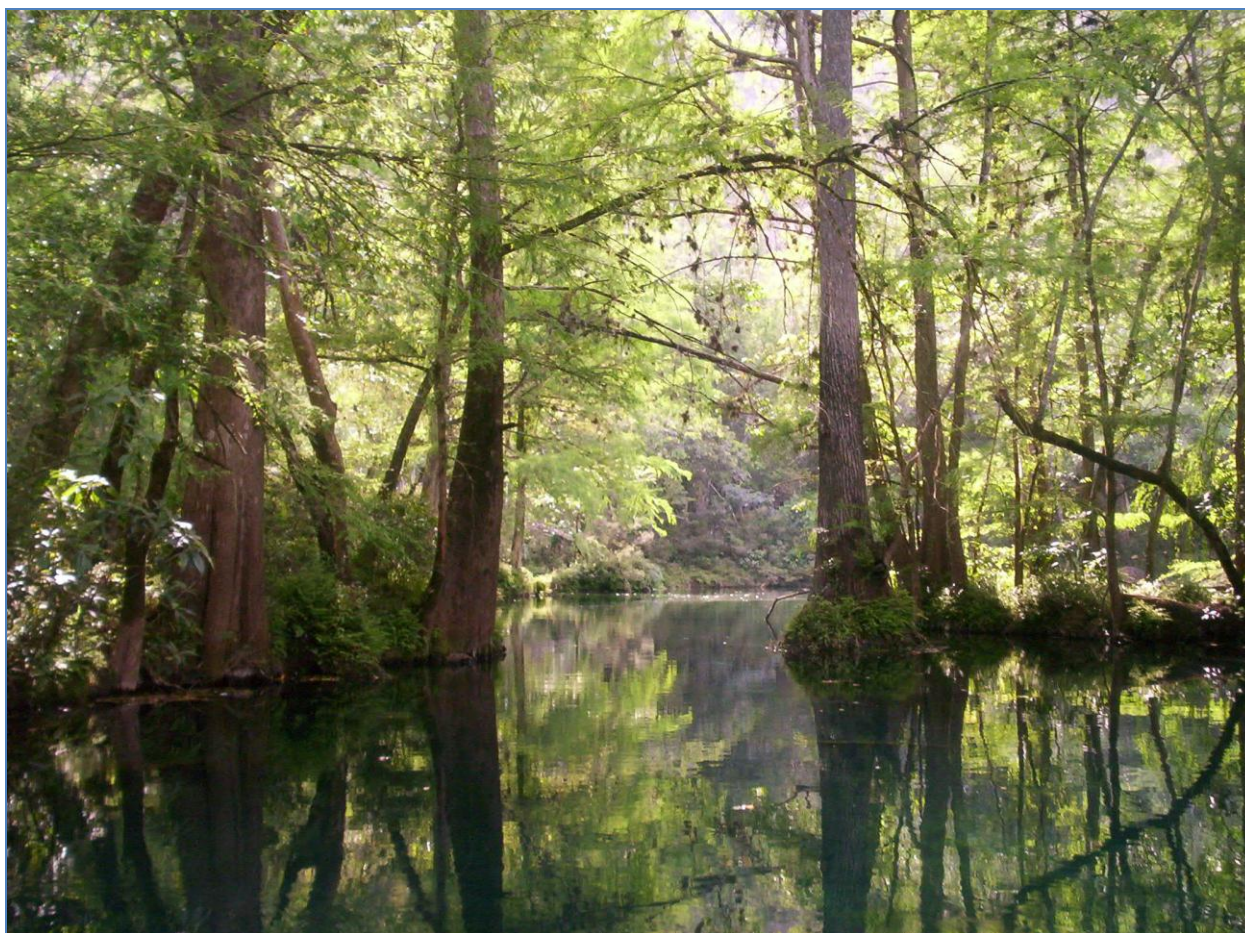


Figura IV.2.5-4. Imagen de La Bocatoma (El Cielo) presentada en la red social Facebook™, con la finalidad de obtener las experiencias sensoriales/espirituales que inspira a las personas que la observan.

Este paraje se ubica al límite de **El Cielo**, dentro del municipio de Gómez Farías, en las faldas de la Sierra Madre, y muy cercano al nacimiento del Río Frío. El sitio, conocido como “La Bocatoma” es muy conocido por los habitantes de la región, y por su belleza fue seleccionado por una de las televisoras más importantes en Latinoamérica para la campaña “Estrellas del Bicentenario”, por la conmemoración del 200 aniversario de la independencia de México (Torres, P., 2010, www.youtube.com/watch?v=ZojkZU25TFs); incluso formará parte de una telenovela de la misma empresa en 2013 (www.televisa.com/telenovelas/corazon-indomable/).

Se accesa fácilmente por carretera hasta el ejido San Pedrito, y aproximadamente dos kilómetros de terracería transitable todo el año. Cuenta con tres restaurantes de comida casera, famosos por preparar el pescado que ellos mismos cultivan artesanalmente en jaulas en el río (bagre) o en pequeños sistemas de *raceways* (bagre, mojarra tilapia y catán), así como diversos preparados con camarón de río (langostino). En fines de semana y temporada alta (Semana Santa y Navidad) acuden habitantes de los poblados circunvecinos a ofrecer diversos productos, principalmente alimenticios.

La “mini-encuesta” en Facebook™ obtuvo un total de 95 comentarios y fue contestada por 81 personas de entre 20 y 65 años, 48 mujeres y 29 varones; la mayoría de origen mexicano y algunos extranjeros (Brasil, Paraguay, España, EEUU). Aunque expresamente se les solicitó que manifestaran las sensaciones que les inspiraba el paisaje fotografiado, señalaron también otros adjetivos de calidad, atributos físicos del ecosistema y otros de carácter intelectual, de identidad y espirituales (estos dos últimos

para diferenciarlos del grupo de sensaciones más propiamente dichas), como se muestra en el Cuadro IV.2.5-7.

Cuadro IV.2.5-7.- Sensaciones y otros grupos de palabras que inspira a las personas un paraje con alto valor paisajístico.

Grupo	Palabras mencionadas	%	No. de Menciones	%
Sensaciones	34	64.15	109	45.04
Cualidades	21	39.62	48	19.83
Atributos ecosistema	19	35.85	43	17.77
Intelectual	16	32.08	22	9.091
Identidad	9	16.98	10	4.132
Espiritual	9	15.09	11	3.719
Totales	108		242	

Se consideraron como “sensaciones” aquellas palabras que expresaron un sentimiento (agradable o no) en las personas. La sensación más mencionada fue “tranquilidad” (23 ocasiones), seguida de “paz” (22) y “vida” (15), las tres de connotación agradable. Coincidiendo con Flores *et al.* (2008), la “tranquilidad” de su área de estudio fue el segundo motivo para ser visitada, seguido de la disponibilidad de agua para bañarse. “Misterio” fue señalada cinco veces y puede considerarse agradable o atractivo para algunas personas, pero no para otras, por lo que se considera una sensación ambigua, como otras mencionadas una vez (soledad, añoranza, nostalgia, incógnita). Tres personas expresaron sentimientos desagradables: miedo (2 veces), ahogo. El resto de las palabras fueron identificadas como agradables. El Cuadro IV.2.5-8 recoge las palabras mencionadas en tres o menos ocasiones.

Cuadro IV.2.5-8.- Sensaciones expresadas tres veces o menos por las contactos de Facebook™. En negro las sensaciones agradables, en rojo las desagradables y en naranja las ambiguas.

No. menciones	Palabras
3	Libertad, energía, quietud, alegría
2	Respeto, relajación/relax, fortaleza, amor, asombro
1	Serenidad, vigor, plenitud, miedo , descanso, soledad , nostalgia , supervivencia, ahogo , seguridad, añoranza , diversión, gratitud, incógnita , pasear, disfrutar, calma, reposo, ganas, calidez, sorpresa

El resultado es coherente con lo discutido por De la Fuente, *et al.* (2004a), en el sentido de que este tipo de paisajes motivan en la gente una “predisposición afectiva” debida a su efecto relajante y tranquilizador; además refiere que este tipo de ambiente cuenta con las condiciones y recursos ventajosos para la sobrevivencia de la especie, lo que motiva en el inconciente dichas sensaciones, que los hacen propensos a ser electos por las personas, citando las teorías de la adaptación efectiva al entorno (Berlández, 1985 y Kaplan, 1998 EN De la Fuente, *et al.*, 2004a). Esto puede fundamentar también algunas sensaciones relativas a la sobrevivencia de la especie, como la palabra “Vida” y algunas relacionadas como “energía”, “vigor”, “supervivencia”. Respecto a la sensación de “misterio” o “incógnita”, este mismo autor menciona que en una escena como la descrita resulta atractivo “cierto grado de misterio”, ya que motiva la curiosidad y la ocultación o enmarque de partes de la misma en “ver sin ser visto”.

Las palabras “belleza”, “hermoso” y “armonía” fueron las más referidas, con 15, 6 y 5 menciones respectivamente. La manifestación de estas cualidades por los observadores podría ser importante para la conservación de los ecosistemas, ya la sola belleza de un

paisaje debería ser suficiente motivo para ser protegido de forma legal, de acuerdo con Hettinger (2007, citado por Panagopoulos, 2009); esto porque, según (Panagopoulos, 2009), al ser la belleza una cualidad que causa placer a los sentidos, el tener esa experiencia subjetiva que muchas veces incluye el balance y armonía con la naturaleza, puede provocar en el observador sentimientos de bienestar emocional. Relativo a esto, palabras con menos de cinco menciones (Cuadro IV.2.5-9) pueden destacarse como alusiones al concepto de armonía: “pureza”, “perfecta”, “sencillez” y “prístino”; además de la ya citada “hermosa”, al concepto de “belleza” pueden relacionarse “exquisito”, “paraíso”, “majestuoso”, “radiante” y “maravilla”.

Cuadro IV.2.5-9.- Cualidades expresadas tres veces o menos por las contactos de Facebook™.

No. menciones	Palabras
3	Pura/pureza
2	Remanso, grandeza
1	Verde, perfecta, permanencia, exquisito, paraíso, sencillez, prístino, movimiento, danza, increíble, majestuoso, imponente, radiante, maravilla, persistencia

Otro grupo de palabras hicieron referencia a las cualidades más valoradas como atributo del “paisaje”, aunque sólo destacaron por su número de menciones “natural” o “naturaleza” (9) y “fresco” (5); pero relativa a esta última (dentro de este contexto) apareció la palabra “agua” (con cuatro menciones), así como otras con tres o menos (Cuadro IV.2.5-10): “río” (o “ripario”) y “frío”; y otras características del agua, como “reflejo” y “cristalino”. La presencia de “biodiversidad” fue manifestada con las palabras “pájaros”, “bosque” y “árboles”, mientras que las relativas a la atmósfera se perciben con las palabras “oxígeno”, “luz”, “murmullo”, “viento” y “sol”.

Cuadro IV.2.5-10.- Atributos del ecosistema señalados tres veces o menos por las contactos de Facebook™.

No. menciones	Palabras
3	Paisaje, oxígeno, pájaros
2	Reflejo, luz, ripario/río
1	Cristalino, biodiversidad, subsistencia, sostén, bosque, frío, murmullo, viento, árboles, sol

Por otra parte, las palabras relativas a la experiencia intelectual, de identidad o espiritual fueron las que menos fueron manifestadas, con dos menciones como máximo (Cuadro IV.2.5-11), excepto la palabra “inspiración”, referida en tres ocasiones. Las relativas a la experiencia intelectual fueron aquellas que manifestaban de alguna forma el deseo o experiencia de conocer o saber; las relativas a identidad fueron aquellas que incluían el sentido de pertenencia o colaborar con el grupo (familiar o estatal); las de carácter espiritual tienen qué ver con el sentimiento de algo sagrado o ideal.

Cuadro IV.2.5-11.- Palabras de experiencia intelectual, de identidad y espiritual mencionadas por las contactos de Facebook™.

No. menciones	Palabras	Experiencia
3	Inspiración	Intelectual
2	Conectividad/contacto, profundidad, inspiración, escuchar, pensar	Intelectual
	Regalar	Identidad
	Espíritu/-ual, balance/equilibrio	Espiritual
1	Trascendencia, flujo, re-creación, <i>re-load</i> , camino, catarsis, sabiduría, explora, encontrar, recorrer, inolvidable	Intelectual
	Tamaulipas, nostalgia (de niñez), “nuestro estado”, familia, niñez, cuidémosla, permitir, recuerdo	Identidad
	“obra de Dios”, “seguridad de Dios”, alma, bendita, Dios, sagrado, milagro	Espiritual

Existe la posibilidad de que el relativamente bajo número de estas menciones dependan de la edad y cultura de los participantes, pues la mayoría son habitantes del norte y centro de México; en esta región, el expresar públicamente cuestiones espirituales o religiosas generalmente no es “bien visto”; y donde -en la práctica- no suele reconocerse la belleza de un paisaje en las cuestiones cívicas, relacionadas con la experiencia de identidad.

Finalmente, y aunque se solicitaron expresamente “palabras sueltas”, algunas personas obsequiaron prosas poéticas, manifestando de forma más genuina los sentimientos inspirados por el paisaje expuesto. Estas prosas se transcriben tal cual en el Recuadro IV.2.5-1, señalando las iniciales del autor (pues se les comentó que la encuesta era anónima) y su edad aproximada.

Recuadro IV.2.5-1.- Poemas compartidos en la red social Facebook™ por los observadores voluntarios de la imagen que aparece en la Figura IV.2.5-4.

(sic)"es una especie de utopía, es libertad pero encerrada solamente en la extensión del paisaje " **IARL, varón, 20 años.**

(sic)"Camino de agua que refleja paz, y tranquilidad , pero que al recorrerlo genera una secuencia de movimientos, que llevan a otros movimientos sin fin , llegando al puerto seguro y tranquilo que es el la tierra firme al final de la foto, que representa la seguridad de que solo dios nos da en la Santa Sion (por otra parte una belleza natural de nuestro estado)" **MAGL, varón, 40 años.**

(sic)"En la quietud de tus aguas en la frescura de tus bosques mi alma y mi espirito danza al compas de el trineo de los pajaros." **JR, varón, sin datos de edad.**

(sic)"me veo paseando en una canoa escuchando el ruido de los pajaros sintiendo tranquilidad y viendo lo hermoso que seria estar en un lugar tan hermoso . y al final del recorrido me imagino una cabaña hermosa en la cual si se encontrara seria muy hermoso" **RHC, mujer, sin datos de edad.**

(sic) “ESTE HERMOSO PAISAJE: ME INSPIRA TRANQUILIDAD, PAZ. CIERRO LOS OJOS YME PARECE ESTAR ESCUCHANDO EL MURMULLO DEL VIENTO, EL CANTO DE LOS PAJAROS Y EL CORRER DEL AGUA. AL VER EL REFLEJO DE LOS ARBOLES SOBRE EL AGUA, LA HERMOSA Y RADIANTE LUZ DEL SOL, MEHACE PENSAR LO GRANDE QUE ES DIOS AL PERMITIRNOS DISFRUTAR DE TODAS LAS MARAVILLAS QUE NOS REGALA. HERMOSA FOTO Y BELLO PAISAJE, GRACIAS POR COMPARTILO. ESPERO QUE UN DIA ME INVITES. TE QUEREMOS.” **ALJ, mujer, 60 años.**

IV.2.5.2.- Descripción biofísica del SSAA

El análisis arrojó un modelo espacial normalizado, en el que las áreas propias para el desarrollo del ecoturismo presentan valores cercanos a uno y las menos propicias tienden a cero; esto significa que las primeras reúnen la mayor cantidad de características ponderadas que, además de incluir factores inherentes a los ecosistemas, deben contar con cierto grado de accesibilidad y de infraestructura mínima para su desarrollo. Por lo tanto, y tal como se observa en la Figura IV.2.5-5, el modelo es sumamente restrictivo, pues sólo el 4.5% del territorio de la cuenca tiene una “vocación adecuada” para el ecoturismo (mayor de 50%, con relación a las de mayor vocación). Esto se debe a que otorga la mayor calidad a los sitios carismáticos (con vegetación vigorosa de selvas y bosques, o buena visibilidad por su pendiente), con presencia o cercanía a cuerpos de agua, un clima agradable, cercanía a lugares poblados y buena accesibilidad terrestre (carreteras pavimentadas o terracería transitable todo el año).

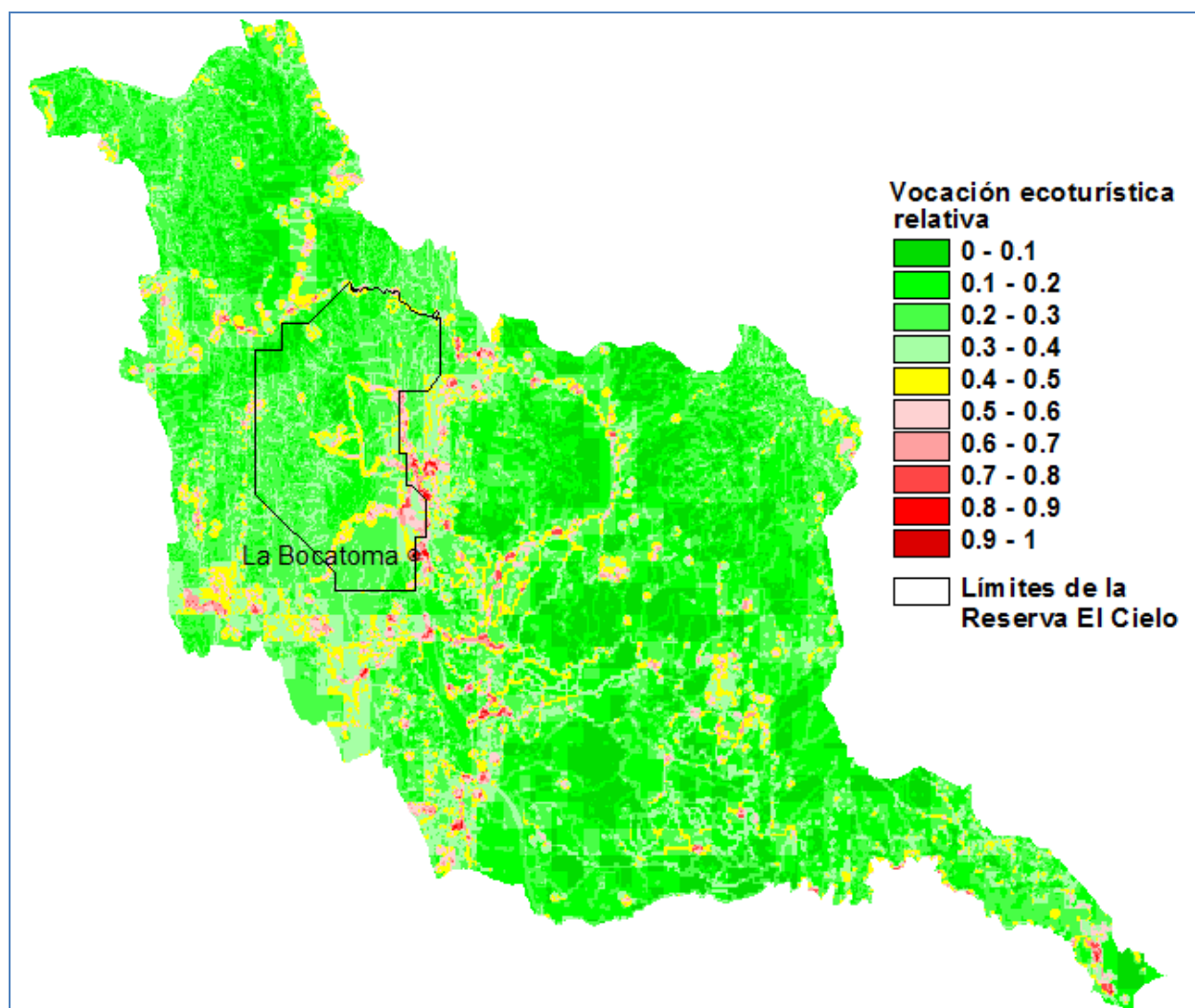


Figura IV.2.5-5. Mapa de la vocación para el ecoturismo de los ecosistemas de la cuenca, con el polígono de la reserva El Cielo y la ubicación de La Bocatoma, sitio altamente valorado en la encuesta y fuente de experiencias agradables mostrado en la Figura IV.2.5-4.

Este análisis es coherente con los resultados obtenidos por [Bustos \(2010\)](#), quien utilizó una metodología similar para la Comunidad Autónoma española de Navarra, basándose en los atributos ambientales del territorio y los “de acceso”; dicha autora encontró que sólo un 3.12% de su área de estudio es idónea para el desarrollo de actividades turísticas en general. No obstante, cabe mencionar que los atributos ambientales que usó fueron sólo en cuanto a biodiversidad, calidad de la vegetación, clima e insolación; no utilizó cuestiones de visibilidad (pendientes) ni presencia de cuerpos de agua, aunque manejó la distancia a la costa. Se refiere -sin ser cuestión biofísica- a los espacios protegidos como parte de los atributos ambientales, a los que otorgó más peso que a la calidad de la vegetación (30 *vs* 20 de 100). En Tamaulipas, el factor de protección no hace diferencia en las preferencias de elección ecoturística a nivel local; sin embargo, es una “buena práctica” que debe incentivarse en las personas, en conjunto con la ampliación de la superficie protegida.

En general, el modelo sugiere que la vocación ecoturística de la cuenca posee características de “balneario”, ya que se distribuye por el trazo del río Guayalejo, así como por sus afluentes; todos ellos con buena comunicación por vía terrestre. El resultado coincide con la principal motivación que lleva a los paseantes a visitar un área

natural protegida en España: el agua para el baño, según refieren Flores *et al.* (2008). En la cuenca, este tipo de sitios especialmente se concentran en la parte baja de **El Cielo**, donde se conjugan la presencia de ríos y canales con agua de buena calidad, con vegetación de bosques y selvas vigorosos, todo ello cercano a caminos, carreteras y poblados. Otro grupo de sitios que destaca por su vocación son aquellos donde se presentan los factores mencionados, pero en lugar de afluentes se tienen pendientes panorámicas; esto se presenta en los senderos de **El Cielo**, así como en zonas montañosas de Ocampo, Tula, Jaumave y Casas.

Finalmente, resalta el caso de algunos más influenciados por la mancha urbana, que podrían tener vocación de “parque sub-urbano”. Estos son clasificados por el modelo con vocación ecoturística mayor de 0.5, pero que en algunos sitios llega hasta 0.9, correspondiendo a un paraje del sureste de laguna la Vega Escondida y otro colindante con la colonia Altavista; ambos se ubican adyacentes a la zona metropolitana de Tampico (que posee la mayor calidad y cantidad en vías terrestres en la Cuenca). En este caso, son adecuadamente señalados sitios pertenecientes al sistema lagunar del Tamesí, así como la Laguna del Carpintero, que se encuentra totalmente embebida dentro de la mancha urbana. Estos sitios habrían alcanzado valores más bajos si se hubieran agregado factores de degradación, de forma similar a Bustos (2010), quien incluyó elementos de percepción negativa del paisaje, tales como estaciones eléctricas, aeropuertos y plantas de tratamiento de residuos; todos ellos presentes dentro de la mancha urbana, pero ausentes en los otros sitios que el modelo incluye en esta categoría de vocación.

No obstante, es importante destacar que el sistema lagunario presenta un uso turístico tradicional, pero que ha sido reconocido como “ecoturismo” en épocas recientes, prácticamente con la recurpeación de la Laguna del Carpintero (a mediados de la década de los 90); sin embargo, el uso tradicional del sistema lagunario se ha enfocado en actividades de pesca artesanal y deportiva, pero se ha ido ampliando otras actividades como paseos en lancha para observación de aves y fauna de estos ecosistemas (Sánchez y Propin, 2005).

Para analizar la consistencia del modelo con los resultados de la encuesta, se capturaron del mapa *grid* los valores de la vocación relativa de los puntos de los sitios más mencionados como “excepcionalmente valiosos” y “valiosos, pero degradados”. Estos se muestran en el Cuadro IV.2.5-12.

Como puede observarse, los que acumularon los valores más altos (mayor a 0.8) son también vistos como excepcionalmente valiosos, excepto en el caso de la presa de La Aguja, señalado también con nivel de degradación. Esto ocurre porque, como ya se indicó, el modelo sólo es capaz de predecir la vocación del sitio, sin incluir factores de degradación tal como hizo Bustos (2010). Sin embargo, cabe destacar que los elementos empleados por dicha autora no afectan a dicha presa, pues no existen en sus alrededores; además, aquellos que en la encuesta se manifestaron como motivo para considerarlos degradados no se encuentran disponibles en mapas digitales, a saber: basura acumulada, presencia de fauna nociva, agua sucia, etc.

Cuadro IV.2.5-12.- Vocación relativa en los sitios más mencionados como valiosos por los participantes de la encuesta.

Nombre del Sitio	Municipio	Nivel	Vocación Relativa
La Aguja	El Mante	Valioso-degradado	0.92
La Bocatoma (Poza Azul)	Gómez Farías	Excepcionalmente valioso	0.92
La Servilleta	El Mante	Excepcionalmente valioso	0.90
El Nacimiento	El Mante	Excepcionalmente valioso	0.81
Playitas de El Limón	El Mante	Valioso-degradado	0.76
El Recodo	Xicoténcatl	Valioso-degradado	0.76
La Florida	Jaumave	Excepcionalmente valioso	0.74
Cuevas de El Abra	El Mante	Valioso-degradado	0.72
Nueva Apolonia (Castillo de)	El Mante	Valioso-degradado	0.63
El Cielo (San José)	Gómez Farías	Excepcionalmente valioso	0.62
Presa E. Portes Gil	Xicoténcatl	Valioso-degradado	0.57
Cuevas de Quintero	El Mante	Valioso-degradado	0.51
El Cerro del Bernal	González	Excepcionalmente valioso	0.46
Valle del Mamut	Xicoténcatl	Valioso-degradado	0.42

El resto de los sitios clasificados con vocación turística (mayor a 0.5) se encuentran alejados de las manchas urbanas; de esta forma, su afectación por parte de los elementos de “percepción negativa” utilizados por [Bustos \(2010\)](#), es prácticamente nula o inexistente. Un caso especial es la zona donde se conjuntan los ríos Frío y Comandante con el Guayalejo, donde se ubican las “Playitas de El Limón”, señaladas en la encuesta como sitio valioso pero degradado; esta zona alcanzó un 0.76 en el modelo de vocación, y es un lugar con aproximadamente 4,200 habitantes (con base en INEGI, 2010), donde también se intersectan tres carreteras de tráfico significativo, así como el antiguo ramal de la vía férrea; por lo cuál, la influencia urbana en la zona y los puentes que complementan las vías terrestres pueden ser motivo de degradación, aunque las personas consideren elementos no mapeados como los ya referidos anteriormente.

Por otro lado, se observó que el modelo sugiere algunos sitios con alta vocación que no fueron mencionados en la encuesta. Por ejemplo, los que obtuvieron puntuación más alta en este conjunto fueron la presa El Oyul, con 0.908 y el ejido Vicente Guerrero con 0.915. Ambos tienen acceso por terracería a menos de cinco kilómetros de la carretera y de poblaciones cercanas y son cuerpos de agua perennes (el primer caso un embalse y en el segundo un río perenne). Además, son utilizados por las personas como balnearios (la presa como sitio de pesca artesanal y de observación empírica de aves) y no se encuentran expuestos a los elementos de degradación que menciona [Bustos \(2010\)](#).

En el sentido contrario, sitios mencionados como valiosos en la encuesta, en el modelo resultaron con baja vocación ecoturística. Dentro de ellos, resalta el Cerro del Bernal, calificado como “excepcionalmente valioso”, pero su puntuación en el modelo alcanzó 0.46, aunque en su porción más baja llega hasta 0.7. En este caso particular, se trata de un Monumento Natural (declarado como tal el 31 de julio de 1996, según [SecGen-Tam, 1997](#)), altamente apreciado por la gente debido a su singularidad y porque “protagoniza” el Escudo de Tamaulipas (como puede observarse en la Figura IV.2.1-12, del modelo de Calidad del Hábitat). No obstante, el valor en el modelo resulta de su

baja accesibilidad y su aislamiento de localidades y de cuerpos de agua. Y aunque ha sido tradicionalmente visitado por excursionistas experimentados (Figura IV.2.5-6), se considera de difícil acceso por sus pendientes pronunciadas y por la selva que lo circunda (Requena, V., 2011, comunicación personal).

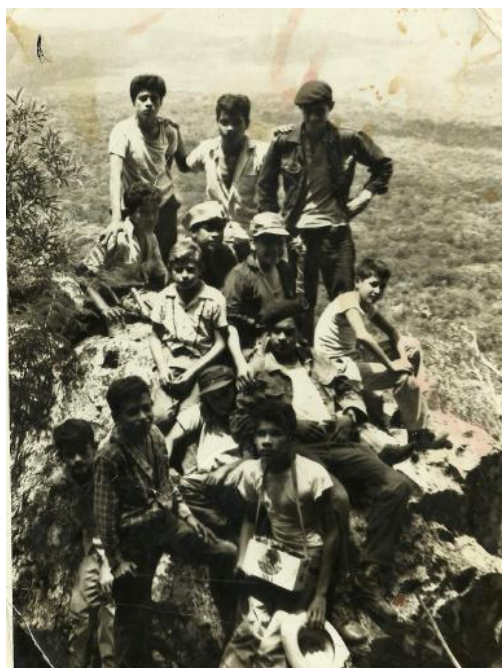


Figura IV.2.5-6. Excursión de 1962 al "picacho" norte del Cerro del Bernal (Foto cortesía de V. Requena, 2011)

Razones similares convergen para que el Valle del Mamut (o de los Mamuts, <http://www.xicotencatl.gob.mx/municipio/historia.htm>) haya obtenido baja puntuación en el modelo. Sin embargo, al contrario del caso del Cerro (reconocido y valorado por la sociedad tamaulipeca), este valle sólo es visitado y considerado como valioso por personas que aprecian la palenteología, pues es el único atractivo del lugar. En este caso, no hay presencia de vegetación carismática, pero existe un pequeño pueblo cercano, de menos de 50 habitantes.

En general, se observó que las áreas sugeridas por el modelo con vocación para el ecoturismo (>0.5) efectivamente son utilizadas por la población para dicha actividad. La mayoría de lugares mencionados en la encuesta como valiosos se ubican dentro de estas áreas. De la misma forma, aquellas regiones de la cuenca que obtuvieron bajos valores en el modelo no suelen ser frecuentadas por la población con fines recreativos, principalmente debido a su inaccesibilidad, aunque contengan recursos paisajísticos valiosos; este es el caso de la mayoría de los terrenos de **El Cielo** y demás zonas montañosas, así como porciones importantes pero aisladas de ríos perennes y otros cuerpos de agua como presas o el sistema lagunar del Tamesí.

IV.2.5.3.- Valuación socioeconómica del SSAA

Aunque, de acuerdo con Hettinger (2007, EN Panagopoulos, 2009), la belleza de un paraje es motivo suficiente para su protección, en la cuenca esto no es bastante para lograr que las zonas con belleza paisajística sean protegidas, ni bajo las leyes mexicanas, ni por la población que los disfruta, pero que no los cuida. Estas cualidades de belleza paisajística se han venido considerando (cuando en México se les considera, es en estudios de impacto ambiental, por ejemplo), de acuerdo con Ribe (1989, EN Panagopoulos, 2009), "como una externalidad de los bosques bien manejados"; no obstante, los estudios de valoración paisajística *per se* han aumentado en diferentes países, llegando a considerar dichas cualidades como un recurso (Dearden, 1985, EN Panagopoulos, 2009) que debe ser cuidado, ya que su degradación puede costar el decremento de visitantes y la disminución de ingresos económicos de las poblaciones que cuentan con recursos paisajísticos; especialmente en las que tienen fuerte dependencia del turismo, como señalan Panagopoulos y Vargues, (2007, EN Panagopoulos, 2009).

Para saber el monto de las pérdidas que la sociedad tamaulipeca tendría de seguir considerando sus paisajes valiosos como una externalidad y no como un recurso que trae beneficios socioeconómicos, a continuación se presentan tres distintos valores monetarios que los paisajes aportan a dicha sociedad: un valor estimado sólo para el año 2011 (valor hedónico del terreno) y dos que son de aportación anual. Con ello, es posible conocer que, si un paisaje se pierde en 2011, el valor de ese sitio disminuiría -al menos- en una proporción del valor hedónico de ese año, sumada a la aportación anual del valor por provisión de empleo rural, así como al valor de opción de usar los sitios paisajísticos.

Es preciso hacer hincapié en que los resultados obtenidos en este análisis son una medida del valor que la sociedad otorga a sus ecosistemas como producto de la estética de sus paisajes, y no un análisis de su belleza intrínseca. La metodología para evaluarlos fue, coincidiendo con Panagopoulos (2009), esencialmente de tipo “intercambio comercial”, y no una evaluación estética en sí.

a) Valor hedónico del terreno

Con valores del año 2011, las personas conocedoras de la Cuenca consideran que este territorio tiene un valor hedónico equivalente a un mínimo de 2,934.36 millones de euros. Esto significa que, independientemente del valor catastral o comercial del terreno (se muestran dos ejemplos de este último en el Recuadro IV.2.5-2), el placer que causa la sola presencia de los ecosistemas existentes en el área de estudio es valorado diez veces más que un terreno que consideran sólo con su valor comercial; están dispuestos a pagar en promedio 1,968.1 euros por cada hectárea en un sitio de calidad paisajística.

Recuadro IV.2.5-2.- Precios y características de ranchos rústicos con accesos transitables todo el año.

Ejemplo de anuncios de ocasión para ranchos en la cuenca en mayo de 2011.

En Gómez Farías (≈500 €/ha):

(sic): “Hermoso Rancho de 2,160 Hectareas. Cuenta con Tres Rios y Dos Ojos de Agua con permisos. Area para Ganado y Pastisales. Exuberante vegetacion y paisajes, Finca. Todos los documentos en regla. Excelente para Produccion o **Ecoturismo**. Nextel ID 52*1023138*1. Area del Terreno: 21600000 Mt². Detalles Especificos: Acceso Asfaltado, Agua Potable, Servicios Eléctricos.”
Precio: M \$ 20,000,000.00, Teléfono: 46028112, 5540719145, Código: 0005534-10-2

En Palmillas (≈1,200 €/ha)

(sic): “RANCHO SAN FRANCISCO UBICACIÓN: A 85 KILOMETROS DE LA CARRETERA DE CIUDAD VICTORIA, SAN LUIS POTOSI, EN EL MUNICIPIO DE PALMILLAS, TAMAULIPAS EL INICIO DEL RANCHO, ESTA A UNA DISTANCIA DE 5 KILOMETROS DE LA CARRETERA INTERCONTINENTAL Y DE LA PROPIA CABECERA MUNICIPAL . CONOCIDO EN LA REGION CON EL NOMBRE ORIGINAL “SAN BLAS”. . PROPIEDAD PRIVADA CON ESCRITURA INSCRITA EN EL REGISTRO PUBLICO DE LA PROPIEDAD, CON UNA EXTENSION DE 757 HECTAREAS. . ESTUDIO FORESTAL QUE SUGIERE LAS AREAS DE APROVECHAMIENTO EN VARAGUIA, PALO POSTERO, VIGA, MADERA DE CEDRILLO, ENCINO Y PINO. . CERCADO A TRES HILOS EN ALAMBRE DE PUA. . UN OJO DE AGUA CON ESTANQUE DE ABREVADERO Y UN ESTANQUE DE AGUA. . 4 HECTAREAS ABIERTAS AL CULTIVO . 300 HECTAREAS DE PLANICIE CON MONTE CERRADO APROVECHABLES PARA GANADERIA. . 300 HECTAREAS DE LOMA BOSCOA A LAS FALDAS DE LOS DOS PICOS DEL CERRO, APROVECHABLES PARA EXPLOTACION DE MADERA Y PALO PARA CERCA. . 157 HECTAREAS DE PENDIENTE DE CERRO Y PLANICIE DE LOS MISMOS. . Area de Cons.: 300 Mt². Area del Terreno: 757 Hectáreas. Detalles Especificos: Acceso Asfaltado, Agua Potable.”
Precio: M \$ 32,000,000.00, Teléfono: 0155 52 55 15 16, 045 55 21 83 90 11, Código: 0006765-10-1

Fuente: [<http://www.inmomexico.com/inmo>]: 08/mayo/2011

[http://www.inmomexico.com/inmo/MDAwMjE3OTktMTA=/Sale/Venta_Rancho_Gomez_Farias_Mexico.html].

Por lo tanto, la diferencia entre el valor comercial (del rancho en Palmillas) y el hedónico es de aproximadamente 40%; este resultado concuerda con el de un estudio similar hecho por Grêt-Regamey *et al.* (2008) quienes obtuvieron que, el valor

paisajístico que se pierde por el impacto de las nuevas construcciones en las vistas de calidad es de 35%; ellos usaron los datos obtenidos a través de una encuesta, la **WTP** de los turistas en una región alpina de Suiza, de acuerdo con su preferencia por las vistas paisajísticas. Ahora bien, si los valores hedónicos son desglosados a nivel de municipio, como muestra el Cuadro IV.2.5-13, las pérdidas del valor hedónico para el terreno en Gómez Farías serían de 82.8% y para Palmillas de 45%, respecto a los valores comerciales mencionados. Por su parte, [Tangerini y Soudel \(2006\)](#) encontraron una mejora/degradación de 10 puntos en cierta escala de cualidades estéticas de un paisaje respecto a otro (MACBETH, **psei**. de la Técnica de Medición del Atractivo con base en una Evaluación Categórica, de [Tangerini, et al., 2004](#)), ocasiona una disminución/aumento del 3% en los ingresos por alquiler en una región alpina de Suiza.

Cuadro IV.2.5-13.- Valor (año 2011) hedónico del terreno en los municipios de la cuenca, totales y por hectárea.

Municipio	M €	€/ha	Municipio	M €	€/ha
Gomez Farías	125.95	2,912.32	Palmillas	98.42	2,180.19
Nuevo Morelos	0.18	2,895.88	Altamira	139.42	2,012.61
Aldama	0.19	2,571.52	Miquihuana	67.67	1,973.08
Ocampo	361.01	2,563.83	Xicoténcatl	162.59	1,939.90
Tampico	22.84	2,561.49	Llera	336.61	1,925.57
Antiguo Morelos	113.57	2,482.55	Jaumave	515.70	1,899.47
Tula	69.53	2,480.72	El Mante	304.30	1,795.94
Güémez	14.88	2,437.65	Casas3	42.02	1,793.57
Bustamante	4.20	2,237.42	González	502.07	1,575.71
Victoria	49.49	2,211.78	Ciudad Madero	3.72	1,097.80

En general, en la cuenca la proporción del aporte de valor hedónico a nivel municipal se relaciona casi directamente con la superficie: por lo tanto, destacan Jaumave, González, Ocampo, Llera y Mante. Sin embargo, estimando el valor hedónico por unidad de superficie, se obtiene un rango de 1,100 a poco más de 2,900 euros, que van en relación a una mejor calidad de atributos paisajísticos y a una superficie relativamente pequeña.

Desde el punto de vista de valor por hectárea, el municipio de mayor aportación es Gómez Farías, con 2,912 €/ha; en este municipio también se localizan los sitios con más altos valores de la cuenca, que alcanzan 8,068.7 euros la hectárea. Por su belleza escénica y su poca presencia urbana, este es uno de los municipios más emblemáticos en Tamaulipas, considerado como “La Puerta de El Cielo” (haciendo alusión a que es la entrada de la Reserva así llamada). El hecho de que el valor hedónico del terreno sea más alto en este municipio coincide con la idea de [Real, et al. \(2000\)](#), quienes afirman que la calidad paisajística es uno de los recursos naturales más importantes también desde el criterio económico. [Daniel et al. \(1989\)](#) a través de una encuesta verbal, observaron que las condiciones del bosque que produjeron la percepción de belleza, también incrementaron el valor que los campistas asignaron a su experiencia en el sitio.

Por su parte, los municipios de Nuevo Morelos y Aldama también destacan por su valor hedónico por hectárea, debido a su escasa superficie dentro de la cuenca, pues las porciones de ambos municipios se ubican en serranía bien comunicada (a menos de 1.5 Km de carretera el primero y a 1 Km de terracería el segundo). Caso aparte es el

municipio de Tampico, que destaca entre los primeros a pesar de ser en gran parte urbano, por lo que su alto valor hedónico contradice las ideas de Knopf, (1987) y de Orland (1988) (ambos citados por [Real, et al., 2000](#)), quienes señalan que los elementos artificiales tienden a disminuir la calidad percibida en una escena natural; sin embargo, este municipio es uno de los mejor comunicados de la cuenca, con paisajes carismáticos en el sistema lagunar del Tamesí, por lo que presenta altos valores por hectárea en sus zonas adyacentes, lo que, aunado la pequeña superficie municipal, se encuentra dentro de los que más valor tienen por hectárea. Todos estos municipios se señalan en la Figura IV.2.5-6.

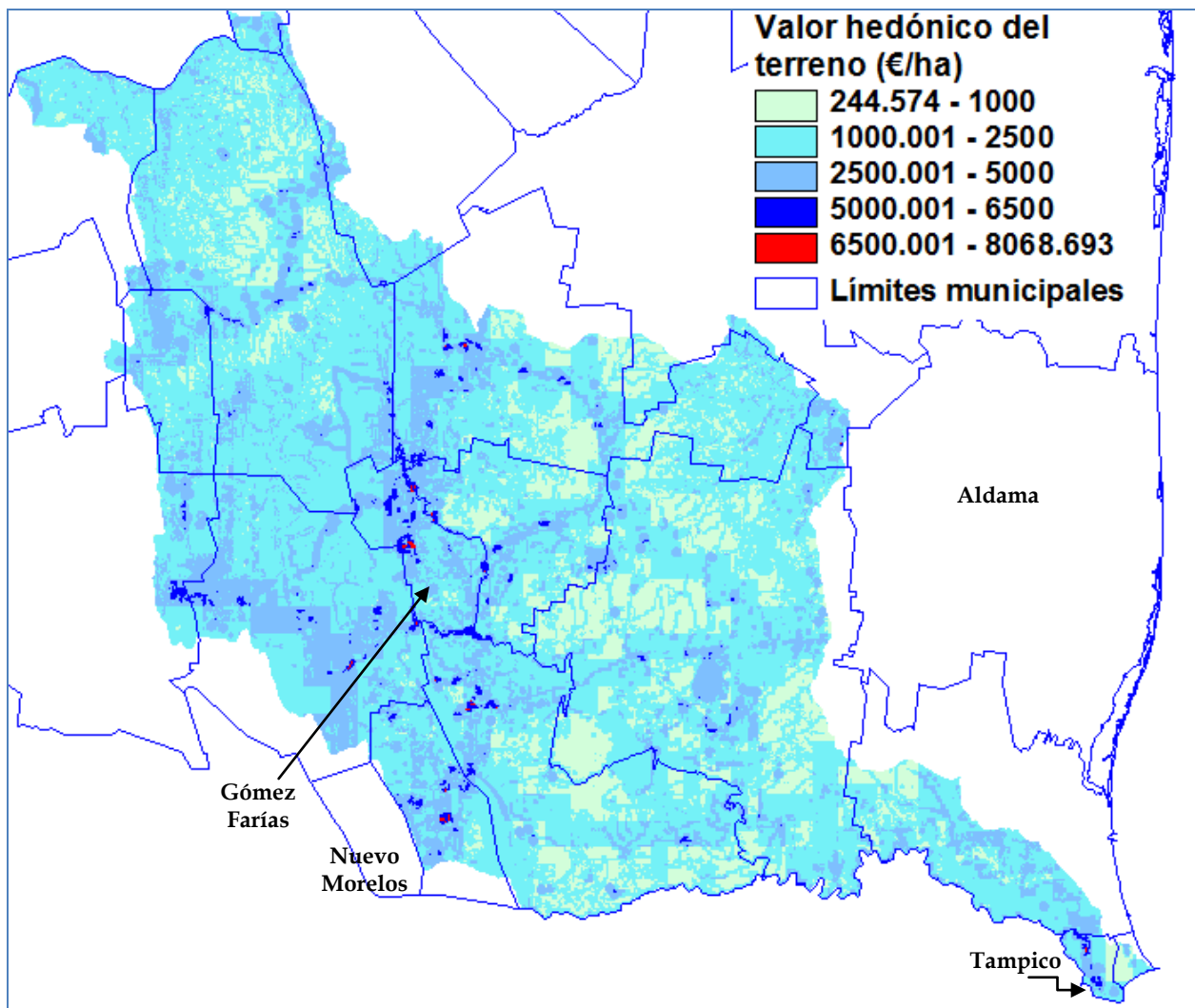


Figura IV.2.5-6.- Valor hedónico del territorio de la cuenca, señalando los municipios con los mayores valores por unidad de superficie.

Como corolario, se debe citar a Panagopoulos y Vargues (2006, EN [Panagopoulos, 2009](#)), quienes señalan la importancia de este tipo de evaluaciones, pues han notado que los estudios de estética del paisaje y del impacto que puede tener algún cambio en sus características van en incremento; esto porque a final de cuentas repercuten en la afluencia de visitantes hacia zonas altamente turísticas.

b) Valor socioeconómico del empleo rural

El valor socioeconómico del empleo rural fue considerado como el monto mínimo que la sociedad se ahorra por cada persona que puede ocuparse en actividades ligadas a la naturaleza), evitando darle un subsidio por concepto de desempleo. Se considera que es un monto mínimo, ya que sólo integra el valor del subsidio como indicador, pero no el costo social de la opción al desempleo, que en la región se da principalmente en forma de emigración hacia zonas urbanas o **EEUU**; dicho costo podría medirse a través del ingreso de divisas a través de las remesas, restando los costos de desintegración familiar, riesgo por migración ilegal a **EEUU**, disminución de la **PEA**, incremento de la inseguridad, etc.

Aunque la población, al verse sin opciones de empleo tradicional en sus localidades prefiere migrar, resulta relevante que, de acuerdo con [Monita \(2010\)](#), en la zona (el Altiplano Tamaulipeco, en su estudio) el ecoturismo es considerado como una actividad generadora de riqueza, pero no es relacionado con los conceptos básicos de sustentabilidad que por definición tiene esta actividad; por ello, algunos sitios se encuentran descuidados y otros en riesgo de estarlo, como fue repetidamente mencionado por los participantes de la encuesta del presente trabajo.

El monto total de este SSAA en la cuenca alcanza 166.092 millones de euros anuales, que equivale a 45.8 € mensuales para cada una de las personas ocupadas del área de estudio; o bien, al tratarse de un valor social, correspondería como mínimo 716.65 €/año por vivienda de la cuenca. Si se asume que cada vivienda representa una familia, esta cifra es 2.33 veces superior a la remesa anual (307.6 €/año) que reporta [BBVA \(2012\)](#) como recibida en promedio por familia tamaulipeca desde **EEUU**, en el año 2011.

Por lo tanto, esos 716.7 €/año representan el costo mínimo de oportunidad para esas familias cuando uno de sus miembros emigra hacia **EEUU**, en lugar de dedicarse a actividades relacionadas con la naturaleza en cualquier lugar de la cuenca; es decir, si estas personas apreciaran y usaran responsablemente sus recursos dentro del concepto de servicios y productos para el ecoturismo, tendrían beneficios globales dos veces superiores de lo que les aporta emigrar.

Cabe aclarar que dicho proceso migratorio no se presenta por igual en la cuenca, puesto que Tamaulipas, a pesar de ser un estado fronterizo, se encuentra en un valor medio del grado de intensidad de migración hacia **EEUU**, ocupando el lugar 21 (de 32 estados) en el país ([CONAPO, 2012](#)). En la cuenca, Mante, Gómez Farías, Ocampo, Tula, Palmillas y Bustamante se mantienen en este nivel; González y Antigua Morelos, se clasifican con índice alto, al contrario que Casas, Tampico y Ciudad Madero con índices muy bajos; mientras que el resto de los municipios presentan índices bajos de emigración.

Otro factor que debe considerarse es el carácter informal de la mayoría de los empleos en ecoturismo dentro de la cuenca (vendedores artesanales, ambulantes, pequeños negocios familiares, etc.; Figura IV.2.5-7). Se carece de información de las ganancias por este tipo de empleo (y auto-empleo) exclusivas para el área de estudio, pero es posible realizar una aproximación usando los datos de Dávila (2011, en prensa: <http://www.jornada.unam.mx/2011/12/08/economia/029n2eco>), quien estima que el comercio informal en México es

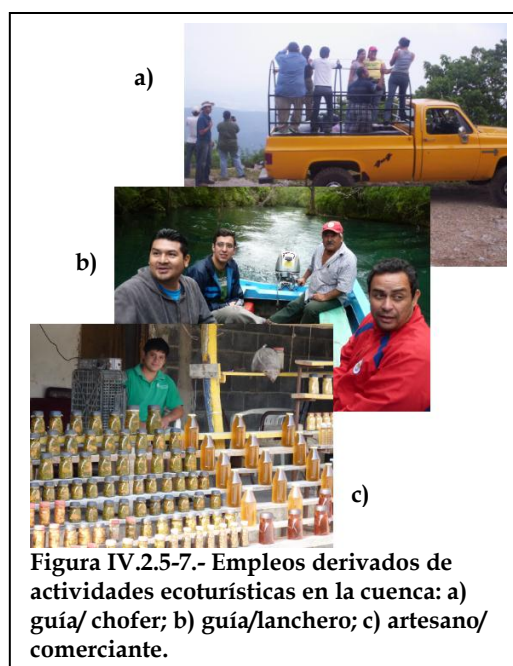
siete veces mayor que los ingresos por turismo y cuatro más que las remesas de 2011, si se incluyen las ganancias por contrabando y piratería; esto representa casi **USD \$78 mil millones** anuales. Señala que existen trece millones de trabajadores informales y 2.5 millones de desempleados, quienes podrían estar produciendo dichas ganancias. Por lo tanto, se estaría generando en promedio 3,320.75 €/año (**USD \$4,870/año**) por cada persona de los 15.5 millones que dicho autor refiere; si se asume que el 16.13% -correspondiente a los 2.5 millones de desempleados- es la proporción que aportan las actividades “legales” (diferentes de piratería o contrabando), es posible inferir que cada una de estas personas obtiene casi 535.64 €/año en actividades informales “no ilegales”.

Para comparar con los resultados de la presente evaluación, es posible señalar que esta cifra es casi 37.53% superior si el valor total del SSAA por concepto de empleo rural se distribuye por igual en los habitantes de la cuenca: 205.01 €/año; no obstante, se debe considerar que existen otras actividades informales no ligadas al ecoturismo (como el ambulante o la obtención de propinas por servicios en zonas urbanas, o incluso otras prácticas ilícitas diferentes a la piratería o contrabando) pueden ser más lucrativas; sin embargo, podrían no estar disponibles para las comunidades del medio rural; por lo que el costo de oportunidad favorecería al empleo derivado de las actividades ecoturísticas a nivel personal y familiar.

Respecto a los valores por municipio (Cuadro IV.2.5-14), nuevamente están relacionados casi en forma directa con la superficie, destacando con más de 16 millones de euros anuales los mismos que el anterior indicador: Ocampo, Jaumave, González, Llera y Mante.

Cuadro IV.2.5-14.- Estimación del mínimo valor socioeconómico del empleo, aportado por la vocación para el turismo ligado a las actividades de la naturaleza.

Municipio	M €/año	€/ha año	Municipio	M €/año	€/ha año
Tampico	2.023	546.54	Casas	2.057	452.64
Gomez Farías	11.466	527.35	Bustamante	0.183	448.42
El Mante	16.450	507.63	Jaumave	22.986	442.10
Nuevo Morelos	0.016	507.38	Güémez	1.052	438.44
Antiguo Morelos	9.212	504.59	Altamira	7.423	436.70
Ocampo	28.684	487.67	Palmillas	5.560	430.50
Xicoténcatl	10.014	474.19	Victoria	2.862	430.01
Llera	17.494	467.95	Miquihuana	2.746	426.03
Tula	4.961	464.78	Ciudad Madero	0.125	371.79
González	20.762	452.72	Aldama	0.018	348.38



En cuanto al valor por hectárea, también destacan municipios pequeños de superficie relativa a la cuenca y de altos valores paisajísticos: Tampico, Gómez Farías, El Mante, Nuevo Morelos y Antiguo Morelos, todos con 500 €/ha o más al año. El mapa de la Figura IV.2.5-8 muestra la distribución espacial del valor socioeconómico SSAA, en el que los de mayor cuantía se concentran hacia los municipios del centro de la cuenca (los mencionados, excepto Tampico), donde coinciden paisajes carismáticos bien comunicados; en el resto de los municipios los mayores valores se concentran alrededor de los sistemas fluviales, lagunares o en serranías.

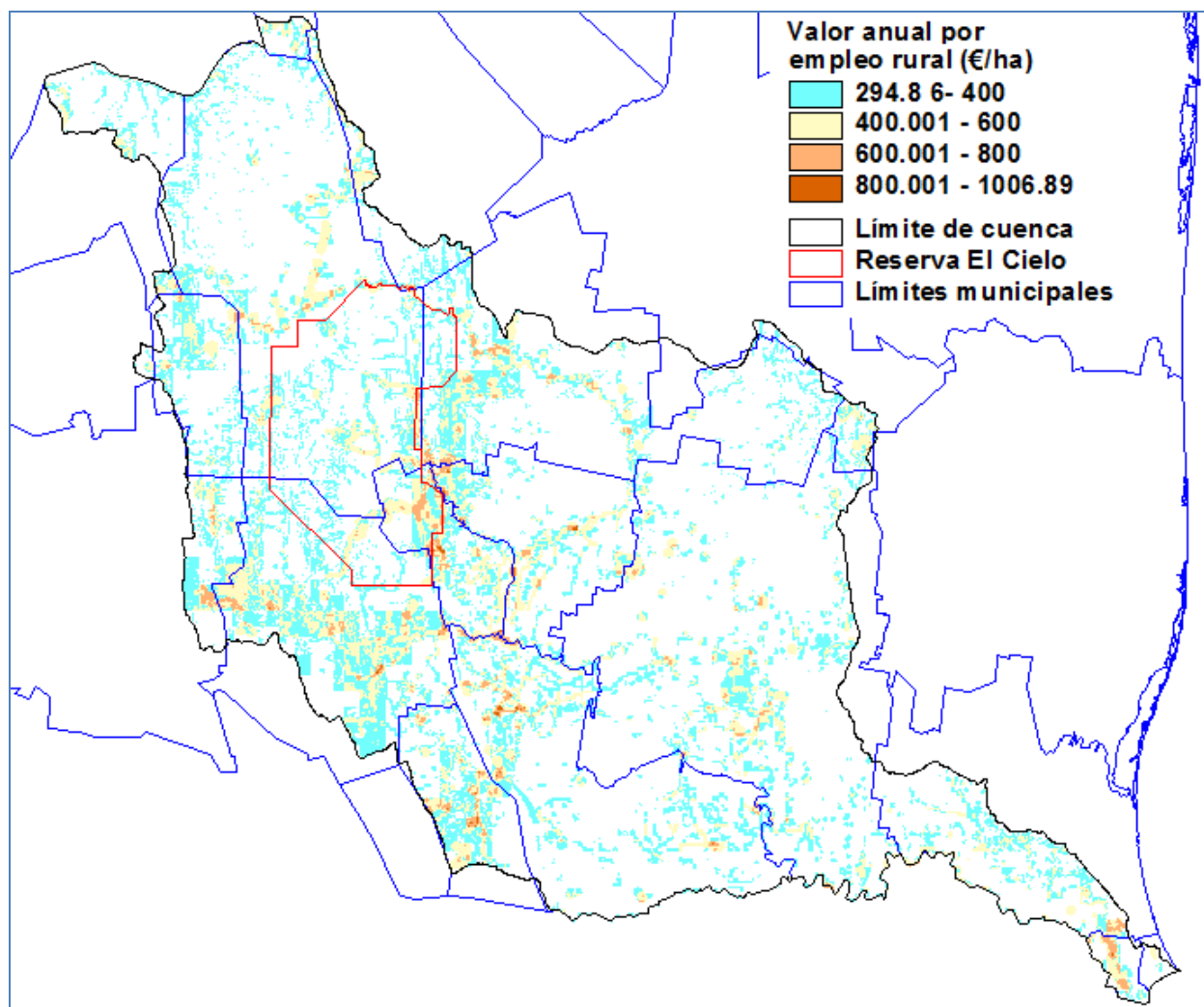


Figura IV.2.5-8.- Distribución espacial del valor anual del paisaje por empleo rural en la cuenca.

Esta es la distribución superficial del SSAA, pero, con la finalidad de hacer una comparativa más acorde con el concepto de remuneración por empleo, el valor del SSAA fue distribuido de acuerdo con el número de viviendas (asumiendo una vivienda = una familia) de cada municipio ubicadas dentro de la cuenca; de esta forma, se estimó el costo de oportunidad de las remesas recibidas por ese mismo número de viviendas dentro de la cuenca, como se observa en el Cuadro IV.2.5-15.

Cuadro IV.2.5-15.- Estimación del costo de oportunidad del SSAA comparado con las remesas de EEU, de acuerdo con su distribución por familia/vivienda en la cuenca. Se asume un monto de 307.6 € /año de remesa recibida por familia, según datos de BBVA (2012). Valores en €/año para 2011.

Municipio	No. VIV	%VIV REM	No.Viv Rem	Valor SSAA	SSAA viv	Remesa de vivRem	SSAA de viviRem	Costo de oportunidad
Ocampo	3,270	8.83	288.88	28,683,722	8,771.78	88,858.95	2,533,976.44	-2,445,117.50
González	8,185	6.80	556.66	20,762,339	2,536.63	171,229.38	1,412,048.23	-1,240,818.85
Gómez Farías	2,470	6.15	151.86	11,466,074	4,642.14	46,713.47	704,974.83	-658,261.36
Tula	298	12.72	37.91	4,961,489	16,649	11,660.28	631,129.42	-619,469.14
Antiguo Morelos	2,400	6.82	163.77	9,211,654	3,838.19	50,376.18	628,586.79	-578,210.62
Palmillas	503	9.96	50.10	5,560,430	11,055	15,410.64	553,827.71	-538,417.07
Jaumave	3,909	2.06	80.58	22,986,147	5,880.31	24,785.37	473,815.93	-449,030.55
Llera	4,810	2.74	131.60	17,493,878	3,636.98	40,479.20	478,615.32	-438,136.12
El Mante	33,152	5.50	1,824.85	16,450,075	496.20	561,324.80	905,494.96	-344,170.16
Xicoténcatl	6,680	2.78	185.50	10,013,612	1,499.04	57,059.75	278,072.37	-221,012.62
Victoria	4	1.96	0.08	2,861,544	715,386.02	24.10	56,055.87	-56,031.77
Miquihuana	57	1.82	1.04	2,745,855	48,172.89	318.79	49,924.63	-49,605.85
Casas	42	0.86	0.36	2,056,570	48,965.96	110.99	17,668.13	-17,557.14
Altamira	22,014	2.19	482.04	7,422,571	337.18	148,275.01	162,531.31	-14,256.30
Bustamante	1	7.64	0.08	182,503	182,502.61	23.51	13,948.50	-13,924.99
Aldama	0	3.73	0.00	17,946	∞	0.00	0.00	0.00
Güémez	22	0.00	0.00	1,052,338	47,833.56	0.00	0.00	0.00
Nuevo Morelos	0	4.18	0.00	15,902	∞	0.00	0.00	0.00
Tampico	86,245	1.32	1,138.41	2,023,489	23.46	350,176.05	26,709.57	323,466.47
Ciudad Madero	57,701	1.86	1,071.63	124,834	2.16	329,632.33	2,318.43	327,313.90

NOTAS: No.VIV= Viviendas dentro de la cuenca (INEGI, 2010); %VIV REM= porcentaje de viviendas que reciben remesas en el municipio (BBVA, 2012); No.VivRem= viviendas que reciben remesas en la cuenca (TOT-VIV*%VIV-REM); Valor SSAA= valor del SSAA por municipio; SSAA viv= valor del SSAA distribuido por cada vivienda en la cuenca (Valor SSAA/No.Viv); remesa de viv rem= remesa recibida por las viviendas (No. viv Rem*307.6€/año viv.); SSAA de viv Rem= valor del SSAA de las viviendas que reciben remesa (SSAA viv * No.VivRem).

En el cuadro anterior se puede observar que no existen viviendas de Aldama ni de Nuevo Morelos dentro de la cuenca, mientras que en Güémez no se recibieron remesas en 2011; por lo cuál, aunque su territorio tenga un valor por concepto de este SSAA, no existe costo de oportunidad contra las remesas (sombreado amarillo). Otros municipios en situación similar son Miquihuana, Victoria, Casas y Bustamante (sombreado verde olivo), donde las remesas se reciben en una vivienda o menos, lo cual asigna a esas familias todo el valor del SSAA, por lo que en este caso es preciso considerar que el costo de oportunidad se encuentra distorsionado: haría falta considerar el total del municipio en el análisis (en cuanto a viviendas y SSAA), lo cual queda fuera del alcance de este trabajo.

En Tampico y Ciudad Madero, municipios cuya superficie en la cuenca se encuentra urbanizada prácticamente en su totalidad, el valor del SSAA es muy bajo (2.16 y 23.46 veces menos) comparado con la remesa promedio. Por ello, se tiene un costo positivo, lo cual indica que para los habitantes de esos municipios es más rentable que un familiar emigre hacia EEUU, comparado con trabajar en alguna actividad relacionada con el ecoturismo, al menos en esta porción de su municipio; esto, a pesar de que CONAPO (2012) los clasifica dentro de un índice de emigración muy bajo, lo cual no necesariamente es proporcional a la cantidad de familias que reciben remesas.

En el resto de los municipios, la emigración tiene un alto costo de oportunidad, ya que la cuantía por remesas es significativamente inferior al valor que el SSAA representa para el empleo por ecoturismo. Es imprescindible aclarar que los montos representan los costos de oportunidad anuales para cada municipio, y más que una cantidad, representan el costo social mínimo que les reporta la emigración como alternativa a que sus habitantes tengan un empleo que les arraigue a sus lugares de origen. Si se obtiene la relación entre ambas fuentes de recursos, resulta que, en los municipios donde es más rentable el empleo por ecoturismo, existe un rango que va de 1.6 (en Altamira) a 54.13 veces (en Tula) la rentabilidad de éste sobre las remesas; esto encuentra coherencia con el análisis de [Cantú et al. \(2011\)](#), quienes estimaron que el ecoturismo motivado por la observación de aves en México generó (en 2006) 54 veces más ingresos que el aprovechamiento extractivo (captura y venta de aves canoras y de ornato).

A pesar de contar con un gran potencial para el desarrollo de actividades relacionadas con el turismo de naturaleza, y de los altos costos de oportunidad que tiene la alternativa de emigar por trabajo, dichas actividades no han logrado consolidarse como una opción real para el desarrollo sustentable del área de estudio. Esto se debe a dos factores principales: la falta de conocimientos y valoración de los sitios, así como el escaso interés del gobierno y otros actores sociales. A este respecto, [Monita \(2010\)](#) señala que los habitantes del altiplano tamaulipeco carecen de una cultura de conservación y cuidado de sus sitios ecoturísticos, y aunque comprenden la importancia de su cuidado, deja de importarles si esto implica afectación a su patrimonio económico; esto es producto de que piensan que el Gobierno es el responsable del “bienestar social” y de que al ser el promotor del ecoturismo, sus recursos deben explotarse al máximo. Por su parte, las autoridades mexicanas no llevan a la práctica estrategias de organización que fomenten un desarrollo eficiente y ordenado de las actividades ecoturísticas [Guerrero \(2010\)](#), además, sus estadísticas oficiales publican datos que subestiman la importancia económica de la misma ([GMX y BM, 1995](#)).

Finalmente, es necesario reflexionar acerca de la factibilidad ecoturística real en el territorio, ya que, de acuerdo con [Kiss \(2004\)](#), el ecoturismo se ha visto como una buena opción local de desarrollo, por ser una actividad muy lucrativa y de bajo impacto ambiental, pero en realidad puede no serlo tanto. Refiere que, para mantener estas características, tanto el nivel de infraestructura como la cantidad de turistas deben ser bajos, a la vez que el nivel adquisitivo de éstos debe ser alto, por lo que los que están dispuestos a pagar más por un nivel menor de confort son relativamente pocos. Como resultado, las empresas ecoturísticas comunitarias (como las organizadas por ejidatarios) muchas veces fracasan o tienen bajos ingresos que llegan lentamente de los turistas que van de paso. En la cuenca, esto es especialmente cierto, ya que sólo en las ciudades se cuenta con infraestructura turística establecida, pero en las localidades rurales sólo existe un hotel ecoturístico de tres estrellas en Gómez Farías, dentro de **El Cielo**, muy cerca del único centro de interpretación de toda el área de estudio.

c) Valor de opción del sitio, a través de la WTP.

Hacia los años '80, algunos investigadores ya analizaban la relación entre la belleza del paisaje y la WTP por disfrutarla; es el caso de [Daniel et al. \(1989\)](#) quienes encontraron una fuerte relación lineal entre dicha WTP y la belleza escénica de cada lugar. Este grupo comparó las respuestas aplicadas en 35 áreas forestadas de **EEUU** acerca de la

belleza paisajística, con la **WTP** por acampar en esos sitios manifestada por otros grupos. En México, **GMX y BM (1995)** señalaban la creciente popularidad de las áreas naturales como sitios de turismo y esparcimiento, así como su “considerable potencial” para incrementar las actividades ecoturísticas.

Por su parte, y ya en 2003, **Hawkings** cuestionaba la validez de los datos obtenidos en ese tipo de estudios, discutiendo que en una valuación contingente no es posible estimar si en realidad los encuestados pagarían los montos expresados como **WTP**. No obstante, los estudios de mercado toman como base ese monto para la designación de tarifas; si se aplican en el caso la de entrada a los sitios estudiados, resultan algo análogos a un “precio de mercado”, ya que por una parte, integra los costos de operación, que deberían ser similares en sitios con un manejo afín; y por otra, un valor “agregado” que teóricamente la gente estaría otorgando a un sitio con características “mejores” (más carismáticas, mejor conservado, etc.) que a otro no tan favorecido, y por lo tanto, con una **WTP** más baja.

Este segundo valor es el que se intentó encontrar en la presente investigación, al restar los resultados de la evaluación contingente (la **WTP**) de dichos “costos de operación”, para de esta forma obtener el indicador de cómo la gente valora un sitio paisajístico bien conservado y apto para el ecoturismo, que se estimó para la cuenca en un mínimo de 1'349,649.17 € anuales. Si toda la población aportara este valor para conservar y disfrutar de dichos ecosistemas, tendría un cargo mensual de 0.14€ (\$2.4 **MXN** oir persona, 23.8 anuales); esto es en Tamaulipas menos de la cuarta parte de lo que cuesta “en la máquina” un refresco enlatado.

A nivel municipal, Jaumave, González, Ocampo, Llera y Mante, alcanzaron para este indicador un valor superior a cien mil euros anuales. En conjunto, estos municipios suman el 64.1% de la aportación total de los ecosistemas que presentan una calidad paisajística mayor a 30%. Ahora bien, como se observa en el Cuadro IV.2.5-16, desde el enfoque del valor promedio que cada municipio obtiene anualmente por hectárea, varios de ellos superan en promedio los cuatro euros, siendo los más altos Tampico y Gómez Farías.

Cuadro IV.2.5-16.-Ganancia mínima para la sociedad, a partir de la WTP de los visitantes para que los sitios se conserven en buenas condiciones para su recreación.

Municipio	miles €/año	€/ha año	Municipio	miles €/año	€/ha año
Tampico	16.30	4.43	González	167.20	3.86
Gomez Farías	92.35	4.40	Casas	16.98	3.83
El Mante	132.50	4.25	Palmillas	45.90	3.77
Ocampo	230.93	4.22	Bustamante	1.51	3.73
Antiguo Morelos	74.18	4.21	Miquihuana	22.67	3.66
Llera	144.42	4.18	Victoria	23.62	3.63
Nuevo Morelos	0.13	4.09	Altamira	59.78	3.61
Jaumave	189.73	4.04	Güémez	8.69	3.57
Xicoténcatl	80.66	4.01	Ciudad Madero	1.00	2.99
Tula	40.96	3.99	Aldama	0.15	2.87

Si se tomara en cuenta todo el territorio de la cuenca (incluso donde el valor paisajístico es menor de 30%), la mayoría (54.83%) estaría en un rango menor a dos euros por hectárea anual, superficie que en la Figura IV.2.5-9 no es clasificada porque no se ingresó en la contabilización socioeconómica de este indicador. Por otra parte, el 1.23% de la superficie total aporta anualmente cinco o más euros anuales, y sólo el 0.02 supera los siete. En España, Flores *et al.* (2008), reportan una ganancia económica por ingresos a un ANP de 20.84 €/ha anual (17.53 a precios de 2008); si a dicho monto se le resta 70% por gastos de operación (siguiendo la lógica de la evaluación del modelo de Biodiversidad), resulta que la “ganancia” es de 6.25 €/ha; no obstante, si ese valor se traslada al nivel de adquisición en México (con relación a un salario 5.92 veces menor que en España), esa ganancia sería de 1.04 €/ha.

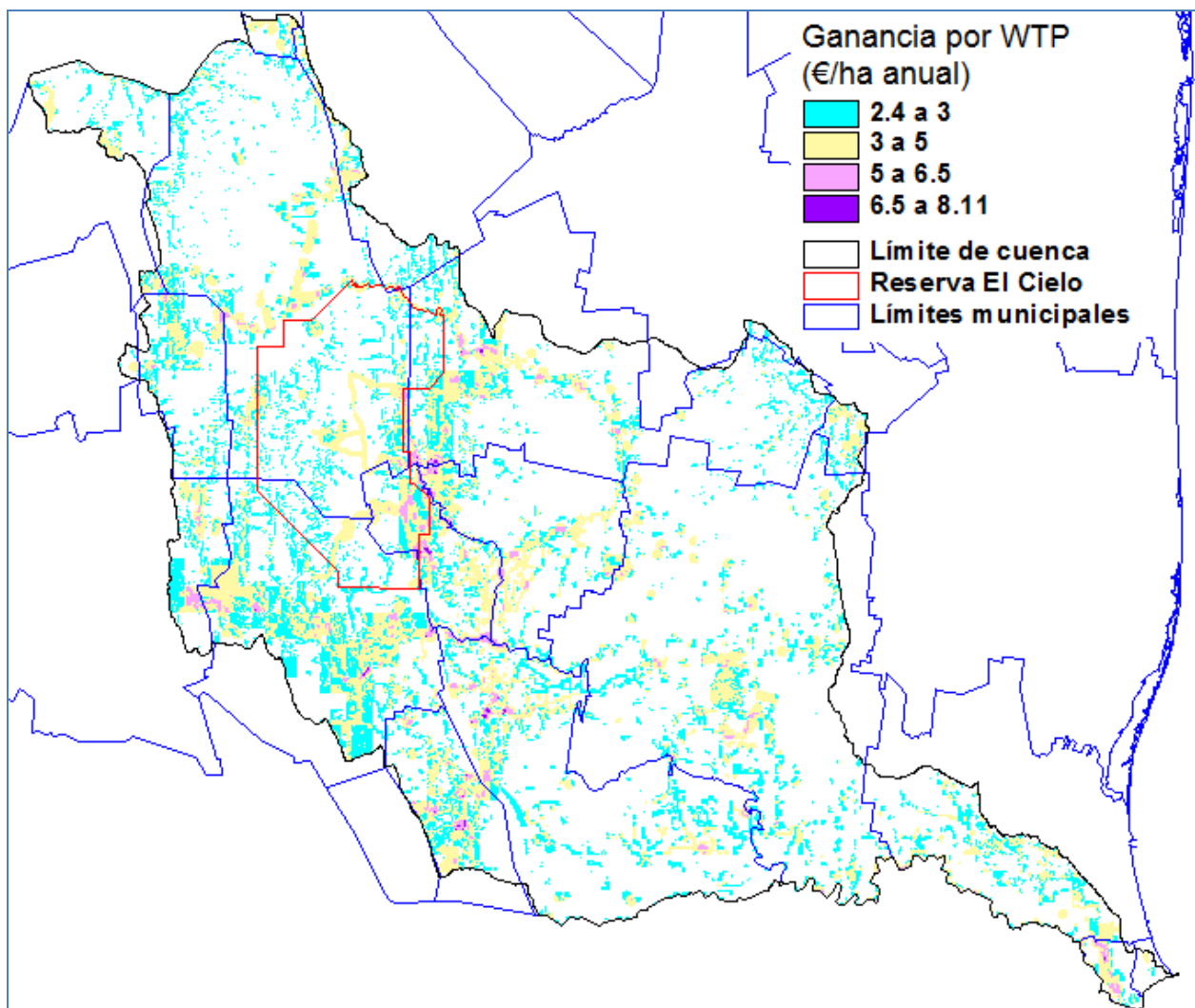


Figura IV.2.5-9. Distribución espacial de la ganancia socioeconómica derivada del WTP en la cuenca.

Es importante notar en esta figura, que los sitios con altas ganancias socioeconómicas por **WTP** se ubican en la porción más baja de **El Cielo**, justo en la conjunción de los municipios de Gómez Farías, Xicoténcatl, Jaumave y Llera. Sin embargo, se logra apreciar que la mayoría se encuentra fuera de los límites de tal reserva, y en gran parte de ésta presenta valores dentro de los rangos medios o nulos para la contabilización de este SSAA.

Esto puede ser un importante indicador de la necesidad de extender los límites de esta ANP en lo que respecta a su zona de amortiguamiento, donde es posible (y deseable) el desarrollo de actividades de ecoturismo y otras actividades de bajo impacto que puedan ser auto-sustentables; por ejemplo, en esa parte de la Reserva se realizó el “Festival de la Aves”, que dejó una derrama económica estimada en USD \$125 mil (85.2m €) en 2011 (Cantú, *et al.*, 2011). El CICC (2009) calcula que este tipo de valor de uso (por hectárea) en bosques de características específicas puede ser 28% superior a la explotación forestal, como sucede en las zonas de arribamiento de la mariposa monarca en Michoacán. No obstante, es necesario señalar que, por actividad forestal, este valor sólo se obtiene cuando se comercializa la madera del bosque (periodos a largo plazo), mientras que en el de uso para recreación el valor es anual.

En este punto, se debe señalar que, los métodos de análisis espacial de la conducta humana expresada en sus preferencias y elecciones que han sido utilizados en la presente evaluación, han sido poco utilizados en estudios de mercado, como refiere Schaafsma (2007?); menciona que en la mayoría de estudios de manifestación de preferencias no se toman en cuenta las características espaciales propias de los sitios evaluados, debido a las limitaciones de este tipo de evaluaciones aunadas con lo complejo de las funciones de los ecosistemas. Por lo tanto, corrobora la validez del método aquí utilizado, pues su principal sugerencia es que se utilicen los análisis espaciales a través de SIG tomando en cuenta las características biofísicas de los sitios estudiados, así como los efectos de la distancia y otros atributos espaciales en las preferencias de las personas, y no sólo las visualizaciones de información geográfica tradicionalmente usadas en los estudios de mercado.

d) Valor socioeconómico integrado del SSAA

Es importante hacer notar que una valoración paisajística basada exclusivamente en los atributos biofísicos de un sitio daría un resultado inverso a la basada en atributos biofísicos y de infraestructura, que son la base de la valuación socioeconómica aquí presentada. Por ejemplo, García, *et al.* (2005) obtuvieron mayores valores paisajísticos en sitios montañosos debido a su inaccesibilidad, aún utilizando otros factores humanos (como el significado social), reducidos en esas zonas; ellos le están otorgando más valor a los ecosistemas mejor conservados, pero que no pueden ser de más alto valor socioeconómico que aquellos que conjugan además factores antropogénicos (como una accesibilidad adecuada, por ejemplo), pues un paisaje se convierte en tal a través de la percepción humana, que precisamente lo valora cuando puede percibirlo. De acuerdo con esto, Kiss (2004) menciona que muchos sitios de alta biodiversidad no necesariamente son sinérgicos con la actividad ecoturística, debido precisamente a que son muy lejanos, peligrosos, sin confort o carecen de especies carismáticas.

No obstante, las personas gastan dinero debido a su atracción hacia los paisajes, ya sea viajando a esos sitios, comprando un terreno en una zona más carismática que otra, divirtiéndose en ellos, etc. (Moran, 2005). Estas conductas fueron estudiadas para inferir el valor que el paisaje representa para la sociedad de la cuenca, descrito a continuación.

El valor socioeconómico mínimo que representan los paisajes del área de estudio alcanzó casi 3,270 millones de euros en el año 2011; lo que es sólo una medida del valor

que representan. Esto significa que, cada hectárea que se haya deteriorado en el 2011 de un sitio de calidad paisajística en la cuenca, estaría perdiendo al menos casi 2,910 euros por los conceptos sociales de trabajo rural, voluntad a pagar por mantener conservado el sitio y el valor hedónico del terreno; además de 470 euros (de 2011, que aumentarán según la inflación) por cada año que tarde en regresar a la calidad original de 2011. Este es el costo de oportunidad mínimo en que la sociedad del sur del estado incurre cuando permite que sus paisajes naturales se degraden. Además, es necesario recalcar que, de acuerdo con [Moran \(2005\)](#), este es un valor parcial de la aportación económica de los paisajes, ya que no se incluyeron otros valores, como otros de opción o el valor de existencia. El Cuadro IV.2.5-17 muestra el desglose en los componentes que se analizaron en este trabajo.

Cuadro IV.2.5-17.-Valoración socioeconómica mínima del Paisaje de la cuenca en el año 2011, de acuerdo con los tres indicadores analizados.

Concepto	Valor	Millones de euros	Euro/ha
Anual			
Ganancia por WTP	1,349,649.17	1.35	4.02
Empleo ligado al ecoturismo	166,092,971.48	166.09	466.37
Subtotal anual	167,442,620.65	167.44	470.39
Fijo 2011			
Valor hedónico del terreno	2,934,358,213.80	2,934.36	1,968.10
TOTAL	3,269,243,455.10	3,269.24	2,908.87

Sobre estos resultados deben tenerse en consideración algunos aspectos sugeridos por varios autores. En primera instancia, [Moran \(2005\)](#) indica que los valores de los paisajes pueden ser altos por existencia o por su valor de opción, aunque suelen ser muy bajos en cuanto a actividades económicas observables, como son los de carácter anual evaluados en este trabajo, que en conjunto aportan apenas un 5.12% del valor total para el año de análisis. Otros valores de existencia, como el de legado, no fueron contemplados en este trabajo, por lo que la valuación podría estar significativamente subestimada; para darse una idea de cuánto más debía elevarse este monto, basta citar que el INE (2007c citado por [CICC, 2009](#)) determinó que el valor de existencia de un bosque en México va de 488.1 a 1,116.02 €/ha (de \$6,840 a \$15,640 pesos mexicanos de 2007), y el de legado puede ser de 8.4 €/ha (\$10 USD de ese mismo año).

Por otra parte, [Grêt-Regamey, et al. \(2008\)](#) señalan que existe una importante variabilidad de resultados entre estudios similares llevados a cabo en diferentes sitios, y que además pueden cambiar muy significativamente al variar la escala, aún tratándose del mismo lugar; por ejemplo, en bosques con características específicas, como el de la mariposa monarca (en el sur de México), [CICC \(2009\)](#) estimó que el valor de uso (valor recreativo) para los visitantes del sitio es de 59.92 €/ha (928 pesos/ha de 2009), siete veces mayor al estimado para este trabajo.

Analizando las aportaciones al valor total por cada municipio (Cuadro IV.2.5-18), resulta que aquellos con mayor superficie en la cuenca contribuyen con más valor, puesto que su mayor parte proviene del valor hedónico de sus paisajes. En conjunto, Jaumave, González, Ocampo, Llera y Mante contribuyen con el 68.5% del monto total, con promedios por hectárea de entre 3,128 y 3,970 €.

Cuadro IV.2.5-18.-Aportación municipal al valor socioeconómico mínimo del Paisaje de la cuenca en el año 2011.

Municipio	Aportación total 2011 (€)	Aportación total 2011 (M €)	%	Promedio por unidad de superficie (€/ha)
Jaumave	538,887,840.04	538.89	17.37	3,288.95
González	523,014,212.21	523.01	16.86	3,128.85
Ocampo	389,932,973.29	389.93	12.57	3,787.78
Llera	354,257,077.33	354.26	11.42	3,507.16
El Mante	320,893,288.31	320.89	10.35	3,972.60
Xicoténcatl	172,682,722.91	172.68	5.57	3,419.03
Altamira	146,904,515.13	146.90	4.74	3,163.88
Gomez Farías	137,512,243.01	137.51	4.43	4,314.14
Antiguo Morelos	122,853,801.36	122.85	3.96	4,036.27
Palmillas	104,023,927.18	104.02	3.35	2,976.57
Tula	74,530,509.32	74.53	2.40	3,545.37
Miquihuana	70,436,390.74	70.44	2.27	3,163.87
Victoria	52,378,960.96	52.38	1.69	3,121.93
Casas	44,094,090.68	44.09	1.42	3,102.66
Tampico	24,878,477.69	24.88	0.80	4,458.15
Güémez	15,943,087.09	15.94	0.51	3,261.20
Bustamante	4,379,244.22	4.38	0.14	3,155.99
Ciudad Madero	3,844,261.47	3.84	0.12	2,530.57
Aldama	210,959.83	0.21	0.01	2,700.86
Nuevo Morelos	198,472.02	0.20	0.01	3,876.72

Ahora bien, si se analiza la importancia de este SSAA para los municipios por su valor por unidad de superficie, podría resultar contradictorio que sea Tampico, que es en gran parte urbano, el que presenta mayor monto. No obstante, como ya se mencionó, esto se debe a su mayor vocación paisajística debida a la conjunción en un territorio pequeño de paisajes carismáticos (especialmente asociados a la zona lagunar), accesos de calidad y cercanía a infraestructura turística. Por lo tanto, este municipio es el que más probabilidades tiene de obtener una ganancia real al hacer un uso adecuado de este SSAA, y al mismo tiempo, el que más perdería si se afectan sus zonas paisajísticas. La Figura IV.2.5-10 muestra la distribución espacial del valor socioeconómico de este SSAA, donde se observa en Tampico, Gómez Farías y Antiguo Morelos la concentración de unidades de superficie con los más altos valores, pues estos municipios tienen como promedio más de cuatro mil euros por hectárea.

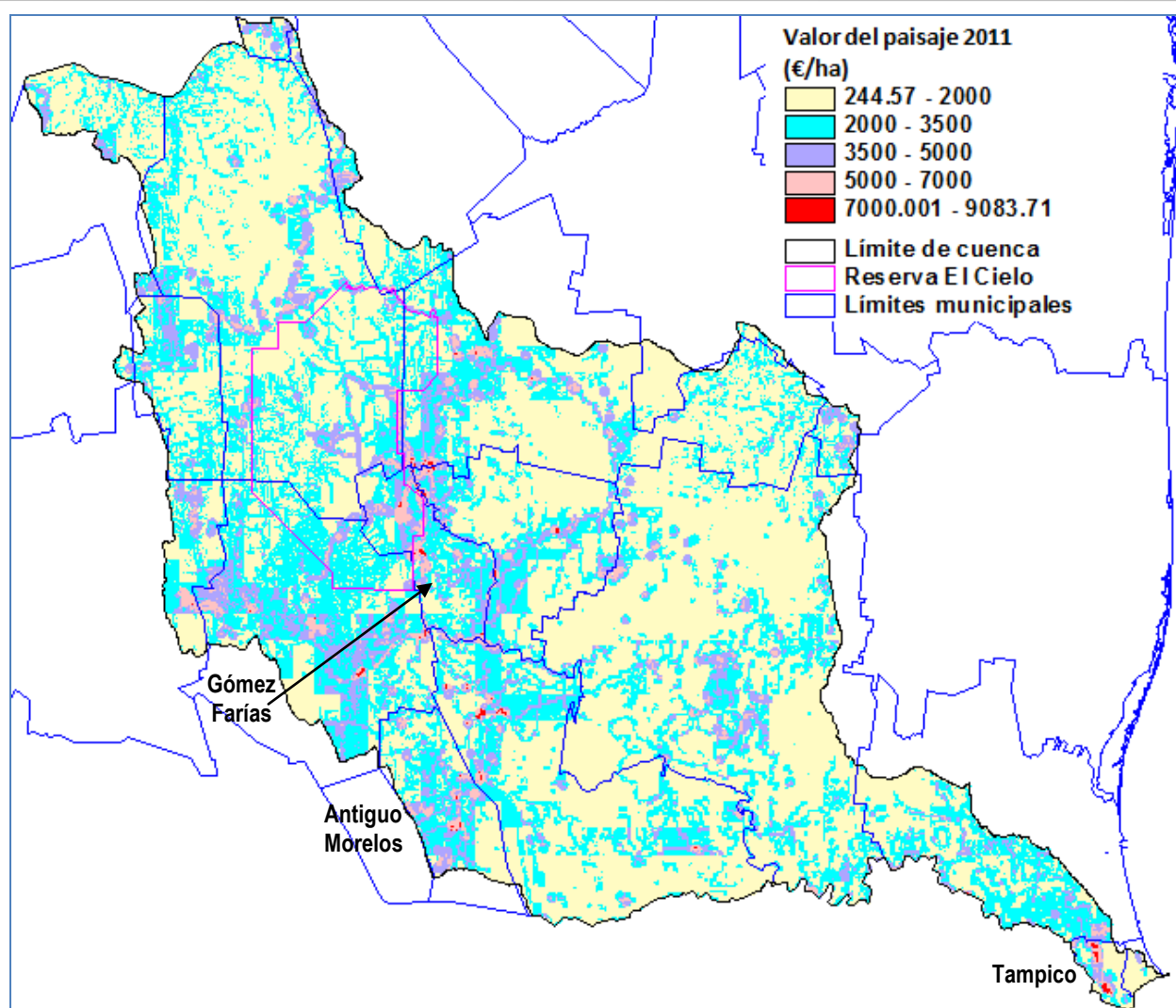


Figura IV.2.5-10. Distribución espacial del mínimo valor socioeconómico del Paisaje por unidad de superficie en la cuenca para el año 2011.

Por otra parte, si se clasifica el territorio de acuerdo con los niveles de valoración por unidad de superficie mostrados en la figura anterior, es posible observar que el mayor monto por este SSAA proviene de terrenos con baja aportación. Estos conforman casi 43% del área de estudio y presentan valores dentro del rango de uno a dos mil €/ha; si se suman al nivel medio, alcanzan un 72.8% de la superficie y casi el 70% del valor total. El Cuadro IV.2.5-19 presenta la clasificación en niveles de aportación de este SSAA.

Cuadro IV.2.5-19. Clasificación del territorio en cuanto al valor socioeconómico mínimo por hectárea del Paisaje en el año 2011, y la aportación a la cuenca por cada nivel de valor.

Nivel €/ha	Clasificación	Promedio €/ha	Valor por nivel (M€)	% de superficie	Aportación al valor total (%)
Mayor a 7 mil	Máxima	7,452.13	14.78	0.13	0.48
5 a 7 mil	Muy Alta	5,711.76	201.63	2.39	6.50
3.5 a 5 mil	Alta	4,199.07	614.57	10.05	19.81
2 a 3.5 mil	Media	2,775.19	1,169.49	29.99	37.70
1 a 2 mil	Baja	1,594.88	963.79	42.85	31.07
800 a 1000	Muy baja (mayor al valor comercial promedio del terreno)	900.25	60.78	4.31	1.96
244.57 a 800	Muy baja (menor al valor comercial promedio del terreno)	563.12	76.81	10.27	2.48

En este cuadro se observa que 10.27% de la superficie son terrenos cuya calidad paisajística es tan baja, que sólo aportan una fracción del valor comercial promedio del terreno; se trata de sitios poco accesibles, con paisajes poco carismáticos, como zonas desérticas con escasa pendiente, zonas agropecuarias y manchas urbanas. En conjunto, las zonas con calidad baja y muy baja están representadas en el mapa de la Figura IV.2.5-10 en color muy claro, y conforman una superficie equivalente al 57.43% del territorio y aportan el 35.5% del valor total.

En el extremo contrario, los terrenos con las más altas aportaciones por hectárea (mayores a cinco mil euros) conforman apenas el 2.52% de la superficie, aportando en conjunto un 7% del valor total del SSAA. Estas zonas representan los sitios con la mayor oportunidad de destacar en la producción de servicios ecoturísticos, siempre que se mantengan las características biofísicas y se mejore su infraestructura dentro de un marco sustentable, conservando el equilibrio que permite que este SSAA sea producido en el nivel más alto. Con esta idea, en el Cuadro IV.2.5-20 se analiza la distribución de las áreas más valiosas de acuerdo con su ubicación dentro de los municipios de la cuenca, con la finalidad de que se conozca cómo se beneficia la sociedad de cada uno de ellos y el costo de oportunidad en el que incurren si disminuyen la calidad de su paisaje.

Cuadro IV.2.5-20. Participación municipal a los niveles máximo y muy alto (valores promedio de 5 mil o más €/ha anuales) del valor socioeconómico del SSAA.

Municipio	Valor Promedio (€/ha)	Aportación anual (M €)	Superficie (Ha)	% del nivel	% Superficie municipal*
Gomez Farías	6,035.97	33.32	5,692.00	15.39	13.16
Ocampo	5,923.16	29.01	5,136.00	13.41	3.65
Jaumave	5,606.01	24.65	4,505.00	11.39	1.66
Llera	5,856.39	23.94	4,086.00	11.06	2.34
El Mante	6,092.14	20.96	3,491.00	9.68	2.06
Xicoténcatl	5,911.91	16.91	2,821.00	7.81	3.37
Antiguo Morelos	6,011.39	16.81	2,903.00	7.77	6.35
González	5,571.64	16.55	3,016.00	7.65	0.95
Tampico	6,192.83	9.00	1,470.00	4.16	16.49
Tula	5,737.99	8.96	1,585.00	4.14	5.66
Altamira	5,542.89	5.49	988.00	2.54	1.43
Palmillas	5,552.59	3.47	637.00	1.61	1.41
Victoria	5,424.76	3.36	629.00	1.55	2.81
Casas	5,614.31	1.85	339.00	0.85	1.45
Miquihuana	5,622.64	1.49	274.00	0.69	0.80
Güémez	5,471.84	0.40	76.00	0.19	1.24
Bustamante	5,287.24	0.20	39.00	0.09	2.08
Nuevo Morelos	5,650.83	0.04	8.00	0.02	12.70
Ciudad Madero	0	0	0	0	0

* Con respecto a la superficie dentro de la cuenca

Como se observa en el cuadro anterior, los municipios que forman parte de **El Cielo** son los que cuentan con mayor participación (51.25% en conjunto) del valor aportado por los terrenos con cinco mil o más euros por hectárea. Gómez Farías, además de encontrarse a la cabeza de éstos, también destaca porque más del 13% de su territorio

presenta los valores más altos en este SSAA, con un promedio anual de 6,036 €/ha. Todos ellos cuentan con una combinación de sitios montañosos, con abundancia de manantiales y afluentes y sitios con buenos accesos por carretera o terracería.

En cuanto a casos específicos, resulta que 16.5% del municipio de Tampico presenta valores promedio de 6,193 €/ha, siendo el de mayor superficie relativa en este rango. En el caso contrario se encuentra Ciudad Madero, que carece de áreas que cuenten con valores máximos. Por su parte, los municipios con menores superficies dentro de la cuenca también presentan una escasa aportación a estos rangos, aunque cabe destacar que 12.7% del escaso territorio en la cuenca de Nuevo Morelos entra dentro del rango, debido a que son paisajes carismáticos (selvas medianas) en sitios con pendientes escarpadas y con buena accesibilidad, y que además tiene un valor espiritual/religioso, al encontrarse junto a la carretera un pequeño altar dedicado a la veneración de “San Juditas”, mostrado en la Figura IV.2.5-11.

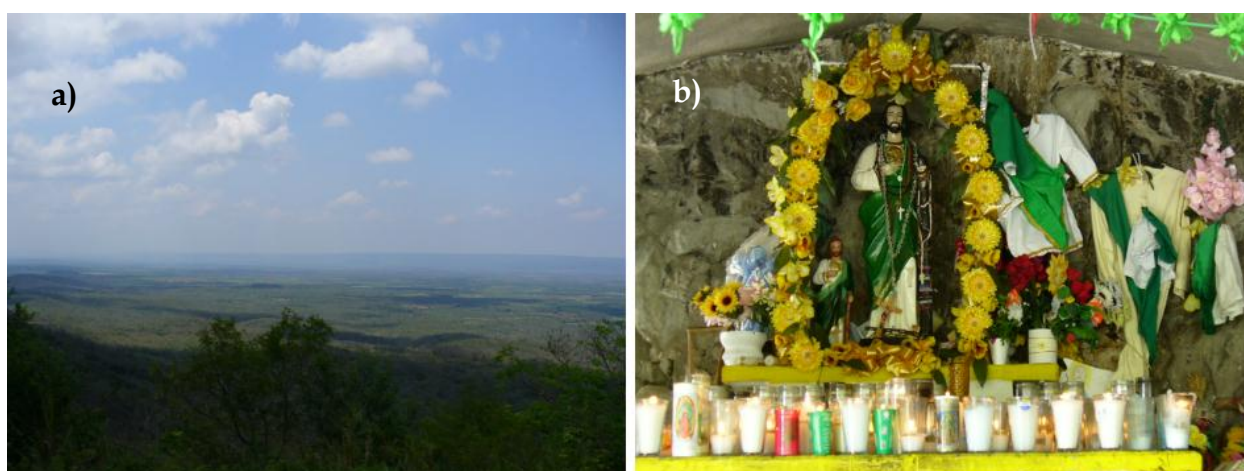


Figura IV.2.5-11. Sitio con alto valor por su calidad paisajística y cultural, ubicado en el municipio de Nuevo Morelos: a) Vista desde la carretera hacia Antiguo Morelos (dentro de la cuenca) y b) Altar dedicado a San Juditas.

Además, se desglosó la contribución anual para el valor de este SSAA, que va de 201 a 1,015 €/año, y cuya distribución espacial se muestra en la Figura IV.2.5-12; en ese mapa es posible notar los mismos patrones observados para los indicadores por separado, concentrando los más altos valores en la zona baja de **El Cielo**, los terrenos adyacentes a las lagunas tampiqueñas y en los alrededores de los cuerpos de agua y afluentes bien comunicados.

La aportación anual de valor por este SSAA es un indicador de las áreas de oportunidad para el desarrollo sustentable de la actividad ecoturística. En esos sitios es donde mejor pueden aplicarse estrategias tarifarias y donde se presentan las condiciones más propicias para que los habitantes locales tengan un empleo ligado a esa actividad. El Cuadro IV.2.5-21 refiere, en primera instancia, las aportaciones de cada municipio y su promedio por hectárea, así como la comparativa con sus presupuestos programados para 2011; destacan con una aportación mayor a diez millones de euros al año los municipios de Ocampo, Jaumave, González, Llera, Mante, Gómez Farías y Xicoténcatl, que en conjunto suman casi 77% del total anual.

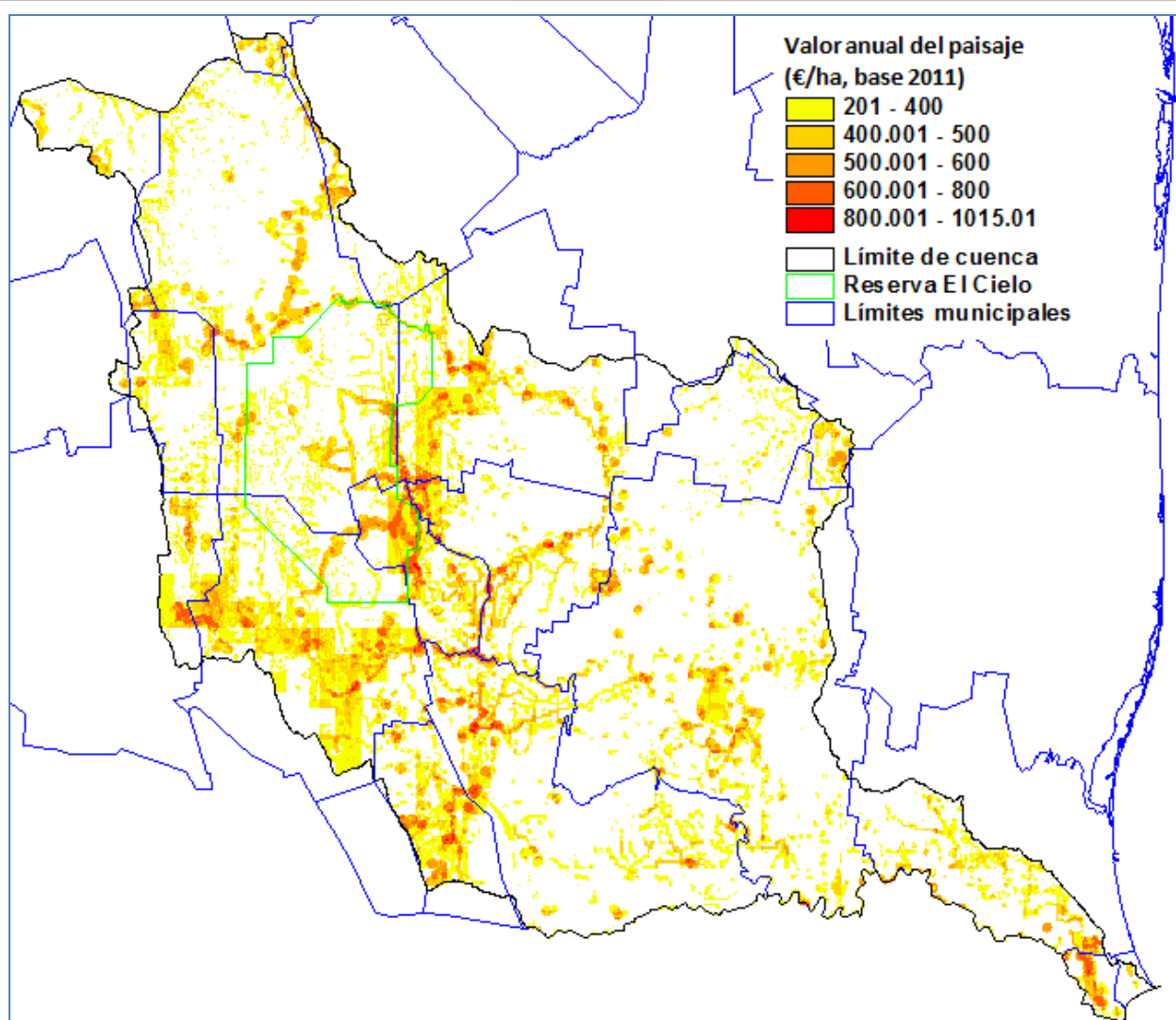


Figura IV.2.5-12. Distribución territorial del mínimo valor socioeconómico anual del paisaje en el área de estudio, con base 2011.

Cuadro IV.2.5-21. Estimación de la aportación anual al mínimo valor socioeconómico del paisaje para cada municipio en la cuenca y comparación con su presupuesto anual programado para 2011.

Municipio	M€/Año	Prom €/Ha	Presup. mpal. 2011 M€/Año ¹	% del Presup. mpal. 2011	Municipio	M€/Año	Prom €/Ha	Presup. mpal. 2011 M€/Año ¹	% del Presup. mpal. 2011
Ocampo	28.92	491.60	268.08	10.79	Tula*	5.00	468.62	36.86	13.57
Jaumave	23.18	445.80	330.44	7.01	Victoria*	2.89	433.56	32.12	8.98
González	20.93	456.18	448.96	4.66	Miquihuana*	2.77	429.37	44.41	6.23
Llera	17.64	472.23	278.79	6.33	Casas*	2.07	456.38	33.86	6.12
El Mante	16.58	511.72	245.69	6.75	Tampico	2.04	550.95	16.70	12.21
Gómez Farías	11.56	531.60	80.28	14.40	Güémez*	1.06	442.06	9.16	11.59
Xicoténcatl	10.09	477.94	124.79	8.09	Bustamante*	0.18	452.13	2.32	7.94
Antiguo Morelos	9.29	508.66	98.43	9.43	Ciudad Madero	0.13	374.79	3.96	3.17
Altamira*	7.48	440.22	125.14	5.98	Aldama*	0.02	351.25	0.12	14.64
Palmillas	5.61	434.30	61.05	9.18	Nuevo Morelos*	0.02	511.47	0.13	12.31

NOTAS: Presup. mpal. = Presupuesto municipal programado para 2011. 1) Fuente: SecGen-Tam, 2010.

*Municipios con menos del 50% de su territorio dentro de la cuenca.

En el cuadro se observa además que este SSAA aporta anualmente valores superiores al 10% de su presupuesto anual (como lo reporta [SecGen-Tam, 2010](#)); incluso aún cuando sus territorios dentro de la cuenca no sobrepasan 10%, como en los casos de Güémez, Aldama y Nuevo Morelos. Esto indica que dichos municipios son importantes proveedores de este SSAA, lo que podría ser una fuente de ingresos altamente significativa; por ello es muy recomendable analizar el desempeño de este SSAA en el total de sus territorios.

IV.2.6. La biodiversidad: contribución a la salud humana por disponibilidad de plantas usadas en medicina tradicional y como posible fuente de fármacos.

Este modelo es un homenaje a mi abuelita, Doña Josefá Guerrero Moreno (Doña Pepita), y a mi tía, Doña Anastacia Requena Guerrero (Mamá Tachita), quienes estimularon mi amor por las *floremitas* y me enseñaron lo poco –pero muy valioso– que sé de las plantas medicinales de mi tierra. Ellas ya descansan felices y en paz.



El consumo humano de plantas como medicina es conocido desde tiempos inmemoriales, pero sólo con las nuevas tecnologías se han recabado evidencias de este hecho; [Hardy y sus colaboradores \(2012\)](#) usaron técnicas de cromatografía de gases, espectrometría de masas (desorción térmica secuencial- cromatografía de gases/espectrometría de masas (*Sequential thermal desorption-gas chromatography/mass spectrometry*, TD-GC/MS), Pirólisis-cromatografía de gases/espectrometría de masas (*pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry*, Py-GC/MS))) y análisis morfológicos de microfósiles vegetales para identificar la naturaleza del material ingerido por Neanderthales hace 24-30 mil años, en lo que hoy es España. En una de las muestras encontraron pigmentos y sustancias supresoras del apetito de sabor amargo, proveniente de hierbas como manzanilla (camomile) y milenrama (*Achillea millefolium*, “Yarrow”), que carecen de valor nutricional; como dicho primate tenía suficiente desarrollo evolutivo para detectar los sabores amargos, llegaron a la conclusión de que estos homínidos pudieron consumir las mencionadas plantas con fines medicinales.

En un mundo más actual, la OMS ([Toledo, 1998](#)) refiere que el 80% de la población hace uso de PMed; porcentaje que se incrementa hasta el 95% en países subdesarrollados, donde generalmente se depende por completo de la medicina tradicional, así como de las plantas medicinales para su salud; ya sea directa o indirectamente ([Robinson y Shan, 2011](#)). Forest y Tyler (2000, EN [González, 2003](#)) señalan que el 75% de los adultos en EEUU las usa como medicina alternativa. Además, se estima que el 25% de la medicina actual contiene sustancias activas derivadas de PMed, y hasta 60% de las utilizadas como anticancerígenos y antitumorales ([Robinson y Shan, 2011](#)); algunas de esas sustancias no son comercialmente factibles para sintetizarse, ni tienen sustitutos sintéticos ([Joy, 1998](#) cita algunas de las 141 especies enlistadas por Kumar *et al*, 1997).

En México, el conocimiento de la etnomedicina se encuentra ligado de forma tradicional a la población indígena, que la utiliza como su principal recurso terapéutico (se sugiere consultar a [Aguilar, et al., 2003](#), para una crónica de la herbolaria tradicional mexicana y a [Hernández, et al., 1991](#), para un breve resumen de esta tradición en Tamaulipas). Sin

embargo, la medicina alopática mexicana tradicionalmente ha venido menospreciando esos saberes (Aguilar, *et al.*, 2003).

En Tamaulipas menos del 1% de la población mayor de cinco años habla alguna lengua indígena (ocupa el 26vo lugar de 32 en México), y de éstos sólo el 14% no habla castellano (INEGI, 2010). Por lo tanto, el conocimiento tradicional de estas plantas es muy limitado respecto a otros estados del sur del país, ya que aquí prevalece el uso de medicina alopática; sin embargo, en algunos municipios fronterizos como Matamoros, se ha reportado que el 75% de la población utiliza las PMed (De la Garza, 2009); en ese municipio viven (según INEGI, 2010) 4,221 indígenas, siendo el tercero (con 18%) en el estado, después de Reynosa (también fronterizo) y Altamira (frontera con Veracruz), quienes provienen del sur del país buscando internarse en el vecino EEUU.

González-Ferrara (2010) enlista para el vecino estado de Nuevo León un total de 221 especies de plantas con uso medicinal (165 nativas y 65 introducidas) de los distintos LULC presentes en ese territorio. Para Tamaulipas, Hernández, *et al.* (1991) reportan un total de 334 especies nativas y naturalizadas con este mismo uso, de las que 201 se encuentran en la región centro y sur del estado, donde se sitúa la cuenca Guayalejo-Tamesí. Este último grupo de autores coinciden con el grupo de González de la Rosa (2010) en que las especies de PMed son las más numerosas respecto a las que tienen otros usos en sus respectivos estados (Tamaulipas y Nuevo León).

En las zonas serranas los pobladores conocen pocas especies, debido en general a que tienen poco de haberse establecido. Sin embargo, en algunos sitios del altiplano tamaulipeco se conservan –por necesidad– algunos conocimientos por la escasez de recursos económicos, aunado con la carencia o dificultad de acceso a servicios públicos y de salud (Hernández, *et al.*, 1991). No obstante, es evidente la tendencia a reducirse drásticamente el conocimiento y uso tradicional de las plantas locales, pues los mencionados autores refieren que gran parte de su información fue dada por adultos mayores, quienes les manifestaron que a los jóvenes ya no les interesan las costumbres tradicionales. Esto fue corroborado durante un trabajo reciente (Guerra, *En Prep.*) en algunas entrevistas en campo, donde los “curanderos” señalaron por una parte haber adquirido sus conocimientos de sus padres y por la otra, que ninguno de sus descendientes se dedica a continuar la tradición.

IV.2.6.1. Descripción biofísica

Es importante recalcar que en este trabajo se asumió que las especies enlistadas por Hernández, *et al.* (1991), y analizadas en esta investigación son tratamientos eficaces en la lucha contra las E/P que se reportan; ya que, de no ser así habrían dejado de utilizarse en la medicina tradicional. Sin embargo, como indicador del nivel del conocimiento actual acerca de las propiedades medicinales de las especies que se evaluaron en este trabajo, se efectuó la búsqueda de cada una de ellas en el motor Google Académico™, utilizando el nombre científico y la palabra medicinal (ambos entrecomillados, para indicar la búsqueda de las palabras exactas). Las especies con un número superior a mil referencias científicas enlistadas en el buscador se muestran en el Cuadro IV.2.6-1.

Cuadro IV.2.6-1. Especies Pmed con más de mil referencias en Google Académico (durante marzo de 2012) con la búsqueda exacta de su nombre científico, asociado a la palabra exacta medicinal.

Clave	Especie	Nombre común	No. Refs.	Clave	Especie	Nombre común	No. Refs.
116	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	11,900	59	<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba	1,960
274	<i>Capsicum annuum</i>	Chile piquín	9,970	303	<i>Lippia alba</i>	Orégano	1,750
276	<i>Datura stramonium</i>	Toloache	6,450	203	<i>Argemone mexicana</i>	Cardo	1,590
199	<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	6,440	9	<i>Spondias mombin</i>	Jobo, jobito	1,460
36	<i>Helianthus annuus</i>	Maíz de Texas	5,510	37	<i>Parthenium hysterophorus</i>	Amargoso	1,350
300	<i>Lantana camara</i>	Pionía	4,330	238	<i>Rhizophora mangle</i>	Mangle rojo	1,340
216	<i>Plantago major</i>	Llantén	3,760	241	<i>Prunus serotina</i> sbsp. <i>capuli</i>	Capulín	1,330
132	<i>Cercis canadensis</i>	Pata de vaca*	2,910	283	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guázima	1,300
207	<i>Passiflora edulis</i>	Flor de la pasión	2,610	120	<i>Acacia farnesiana</i>	Huizache	1,170
138	<i>Mimosa pudica</i>	Vergüenza	2,550	278	<i>Nicotiana glauca</i>	Tabaquillo	1,140
7	<i>Rhus toxicodendron</i>	Hiedra	2,110	74	<i>Bursera simaruba</i>	Chaca	1,050
143	<i>Prosopis juliflora</i>	Mezquite	2,030	184	<i>Sida cordifolia</i>	Malvavisco	1,050

* No es parte del análisis, ya que a pesar de estar registrada con uso medicinal por [Hernández, et al. \(1991\)](#), no aclara cuál es, ni tampoco aparece en la MTM.

A partir de esta información, se evaluaron 17 **E/P** en el sur de Tamaulipas, encontrando que los habitantes de la región cuentan con 1,936 tratamientos para hacerles frente; éstos se encuentran disponibles a partir de 334 especies medicinales (nativas y naturalizadas) que pueden estar presentes en uno o más de los ecosistemas de la cuenca. El Cuadro IV.2.6-2 muestra la contabilización de las especies usadas para tratar cada **E/P** por cada LULC. Como se observa en ese cuadro, las enfermedades y padecimientos que cuentan con mayor diversidad de especies (más de 150) por su tratamiento, son las relativas a problemas estomacales, dolores musculares, padecimientos de la piel y tos.

El mayor número de **PMed** se registra en el grupo de selvas bajas subhúmedas, siendo la SBC la más destacable, ya que cuenta con 135 especies registradas, que dan origen a 320 tratamientos para las **E/P** analizadas. Por ejemplo, el jobo o jobito (*Spondias mombin*) que, además de dar un fruto comestible, es utilizado para tratar 1) diarrea, 2) fiebre, 3) tos 4) disentería, 5) enfermedades de la piel, 6) dolor de estómago, 7) diurética y 8) antiséptica; por lo que esta sola especie aporta ocho **TPMd** a los ecosistemas donde se presente: SBC (como reporta [Hernández, et al., 1991](#)), SMSC, y SAMS donde se ha observado; cuenta con 1,460 referencias en Google Académico™.

Otro ejemplo es la árnica (*Senecio confusus*), referida 30 veces en Google Académico™, es auxiliar para aliviar el dolor en golpes musculares, por lo que representa un tratamiento disponible en las selvas bajas del sur. Por su parte, el árbol de chote (*Parmentiera aculeata*), presente en la SBC, SMSC y SBC tiene propiedades diuréticas, para tratar resfriados y la diabetes (tres **TPMd** para cada LULC), además de ser ornamental y su fruto es consumido en cocción dulce o crudo; se encontró 66 veces en Google Académico™.

Cuadro IV.2.6-2. Número de especies de PMed para tratar cada E/P por tipo de LULC de vegetación natural y semi-natural, registradas para la cuenca por [Hernández et al. \(1991\)](#). Se muestran sólo las que se utilizaron en este trabajo.

LULC	No.Spp PMed	Total TPMd	AnSp	Asm	Conj	Diab	Diar	Dis	Dcab	Dest	Dmue	Dmus	Fieb	GinOb	Ner	Para	Piel	Tos	Vuri
AGTApzi	37	159	10	4	2	8	11	9	7	14	7	14	12	15	4	4	16	14	8
BE	49	81	4	1	1	0	13	4	2	9	1	10	6	7	5	1	4	7	6
BEBPEvs	16	68	2	1	0	3	5	4	2	5	3	3	5	6	5	4	7	8	5
BMM	23	28	2	0	0	0	0	2	2	4	1	4	2	3	1	0	1	4	2
BP	13	23	1	0	0	0	4	0	2	4	0	4	1	2	1	0	1	2	1
BPE	8	20	1	0	0	0	3	1	1	4	0	1	0	2	2	0	1	2	2
BT	4	15	1	0	0	0	2	1	2	1	0	1	0	2	1	0	2	2	0
INU	3	10	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	2	1	0	1	1	0
MAN	8	11	0	0	1	1	2	1	0	0	1	0	1	1	0	0	2	0	1
MDR	22	52	3	1	2	2	5	3	2	4	3	6	5	2	2	2	2	4	4
MSM	48	72	6	4	1	3	10	4	5	7	0	8	3	2	2	0	6	9	2
MZQ1	30	52	1	0	3	3	4	6	3	4	4	2	1	2	3	3	6	4	3
MZQvs	40	153	7	4	4	9	11	11	6	14	7	12	13	12	4	5	15	12	7
PALM	11	52	2	0	0	2	6	5	1	5	1	4	4	8	2	2	8	2	0
PZI	43	182	12	4	3	9	13	10	8	16	7	16	14	15	4	5	18	16	12
RIPA	20	44	1	1	1	2	4	3	1	4	4	2	3	4	3	1	4	3	3
SAMS	16	48	3	1	0	1	5	3	2	5	2	4	3	4	3	2	2	3	5
SBC	135	320	18	11	5	7	31	16	11	30	18	33	21	16	19	12	26	27	19
SBCvs	65	226	11	8	2	16	17	11	9	20	10	20	18	17	8	7	20	19	13
SBEhzch	64	214	14	6	6	13	19	15	10	19	9	22	9	11	8	6	19	18	10
SMSC	34	101	2	3	0	4	10	5	3	10	8	8	8	9	5	4	7	6	9
TUL	2	5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
TOTAL			102	49	31	83	176	115	81	180	86	175	129	143	84	58	168	163	113

Notas: AnSp= Antiséptico; Asm= asma; Conj= conjuntivitis (y oculares); Diab= diabetes Mellitus; Diar= diarrea; Dis = disentería; Dcab= dolor de cabeza; Dest= dolor de estómago; Dmue= dolor de muelas y bucales; Dmus= dolor muscular; Fieb= fiebre; GinOb= ginecobstétricos; Ner= padecimientos nerviosos; Para= parásitos (del aparato digestivo); Piel= infecciones de piel; Tos= tos y catarro; Vuri= vías urinarias; Total TPMd= total de “tratamientos por Planta Medicinal”; No.Spp= número de especies de plantas medicinales.



Figura IV.2.6-1. Floración de la planta de “guapilla”, en la SBC del municipio de Mante

fueron evaluadas en este análisis, le otorga una mayor plusvalía a este y otros ecosistemas de la cuenca; otros ejemplos no evaluados fueron los TPMd

anticancerígenos de *Asclepias curassavica*, de *Phoradendron tamaulipense* o de *Lantana scorta*.

En segundo lugar destaca la SBCvs, que comparte varias especies con la SBC, sin embargo, en algunos registros aparecen especies que son más afines a los hábitats con algún nivel de degradación como esta cobertura; por la misma razón, la SBEhzch registra una especie menos que la SBCvs. Una especie de este grupo destacada por su alto número de referencias en Google Académico™ es *Lantana camara* (Figura IV.2.6-2), con 4,330 entradas. Esta planta crece en la vegetación secundaria de las selvas del sur del estado y es muy popular como ornamental, usada en jardinería y cercos vivos. La MTM reporta que se utiliza **para** tratar dolor de estómago, dolor de muelas, diarrea, disentería, dolor de cabeza, enfermedades de piel, urinarias, diabetes, diurético, además de otras cuyo tratamiento no se contabilizó en este trabajo (hígado, tosferina, caída de cabello, antídoto, etc.); esta especie agrega nueve **TPMd** a las selvas bajas y vegetación secundaria del sur de la cuenca.



Figura IV.2.6-2. Floración de *Lantana camara* en un jardín urbano de Cd. Mante.

Otras plantas medicinales asociadas con la vegetación secundaria en selvas del sur son la sonajera azul (*Centrosema virginianum*, Figura IV.2.6-3), que [Hernández, et al. \(1991\)](#) señalan como exclusiva de las selvas en sucesión, pero que en el trabajo de campo del presente estudio fue observada también en predios y jardines urbanos de la cuenca baja (aunque no se evaluó como **TPMd** en URB); esta especie, además del uso ornamental observado, es registrada en la **MTM** por su uso para tratar dolor de estómago y catarro, y Google Académico™ la refiere 82 veces. El chicalote (*Argemone ochroleuca*), con 80 referencias en el mencionado buscador, se desarrolla, de acuerdo con [Hernández, et al. \(1991\)](#), en vegetación secundaria del sur y suroeste (contemplando en este trabajo SBCvs, MZQvs, PZI y AGTApzi); es referida por [Reyes, et al. \(2011\)](#) por su uso para tratar conjuntivitis y enfermedades de la piel y respiratorias.



Figura IV.2.6-3. Floración de la sonajera azul, en un jardín urbano de Ciudad Mante

Casi la mitad del área de estudio es utilizada para distintas actividades humanas, por lo que su cobertura vegetal se relaciona con las zonas agropecuarias y predios urbanos; las especies más extendidas en esos terrenos son propias de vegetación secundaria, oportunistas y naturalizadas que, debido a su cercanía a los asentamientos humanos, son las más utilizadas respecto a plantas restringidas a vegetación prístina. Debido a esto, los pastizales inducidos, las zonas agropecuarias en situación de abandono

(AGTApzi) y los mezquites secundarios (MZQvs) son coberturas con un importante número de **TPMd** en la cuenca.



Figura IV.2.6-4. Fruto inmaduro del toloache, en un jardín botánico de Cd. Victoria.

La **Pmed** de estos ambientes que ha sido más estudiada es la higuera (*Ricinus communis*), con 11,900 registros en Google Académico™; esta planta es utilizada en México (de acuerdo con la **MTM**) como **TPMd** para fiebre, dolor de estómago, diabetes, piel, antiparásitos, diarrea, disentería y los no contemplados en este análisis: estreñimiento, bilis, cólicos, desinflamatorio, purgante, angina de pecho, etc. Otro ejemplo es el toloache (*Datura stramonium*, Figura IV.2.6-4), ampliamente

estudiada (6,450 entradas en Google Académico™) y con una alta popularidad en la cultura mexicana, ya que se dice que la mujer le hace beber un brebaje al hombre (sin que esté enterado) para que quiera casarse con ella. Según la **MTM**, se utiliza como **TPmd** contra dolor de cabeza, de muelas y muscular, piel, asma, tos, antiséptico, antiparásitos; así como otras que no fueron contabilizadas como reumas, tosferina, entuertos, somnífero, susto, hemorroides, etc.

Otra especie muy común por su carácter oportunista es la guázima (*Guazuma ulmifolia*, Figura IV.2.6-5), que ha sido observada tanto en vegetación secundaria como en predios abandonados; su número de registros en Google Académico™ alcanza los 1,300, y la **MTM** reporta su uso para diarrea, disentería, vías urinarias, diabetes, dolor de estómago, piel, antiséptico, tos, gastritis, así como otras **E/P** que no se tomaron en cuenta (como las que aquejan al hígado, bilis, como antídoto, hemorragia vaginal, regulador menstrual, enfermedades venéreas, baño postparto, reumas, paludismo, etc.).



Figura IV.2.6-5. Floración de la guázima, en la SBCvs del municipio de Ocampo; es un arbusto oportunista diseminado por el centro y sur de Tamaulipas y algunas zonas tropicales de México.

Los bosques en general presentan pocos registros de [Hernández, et al. \(1991\)](#) para **PMed** en la cuenca; esto podría deberse, según mencionan esos autores, a que en zonas serranas los pobladores no conocen muchas especies debido a que no son originarios del lugar. Sin embargo, aunque el BE contabilizó más especies que las de vegetación secundaria, las que se enlistan han sido poco estudiadas. Una excepción es el capulín (*Prunus serotina* sbsp. *capuli*), con 1,330 registros en Google Académico™, usado para tratar tos, diarrea, urinarias, fiebre, disentería, así como las no evaluadas propiedades como somnífero o contra las cataratas. Otro caso es la hierbanís (*Tagetes lucida*) con 479 registros, que crece en los bosques templados y que es usada según la **MTM** para trastornos digestivos: dolores de estómago, cólico estomacal, diarrea, disentería, empacho, tifoidea y vómito. Imágenes de ambas se observan en la Figura IV.2.6-6).



Figura IV.2.6-6. Plantas medicinales comunes de los bosques templados en el municipio de Miquihuana a) hierbanís, cerca del ejido El Aserradero, a 2,597 msnm y b) capulín en el BPEVs de 3,006msnm (cortesía de A. Guerra, 2013).

De los matorrales, destaca el MSM con 48 registros de **PMed**. En estas comunidades vegetales se pueden localizar varias especies (Figura IV.2.6-7) como el chile piquín (*Capsicum annuum*), especialmente en las que se ubican en la cuenca media y baja. Es muy popular en el noreste del país como condimento en comidas caseras, pero en cuanto a uso medicinal, la **MTM** reporta que sirve como antiséptico y en el tratamiento de reumas, vías urinarias, diarrea, otitis, conjuntivitis. Esta especie es la segunda estudiada del inventario, con 9,970 entradas en Google Académico™.

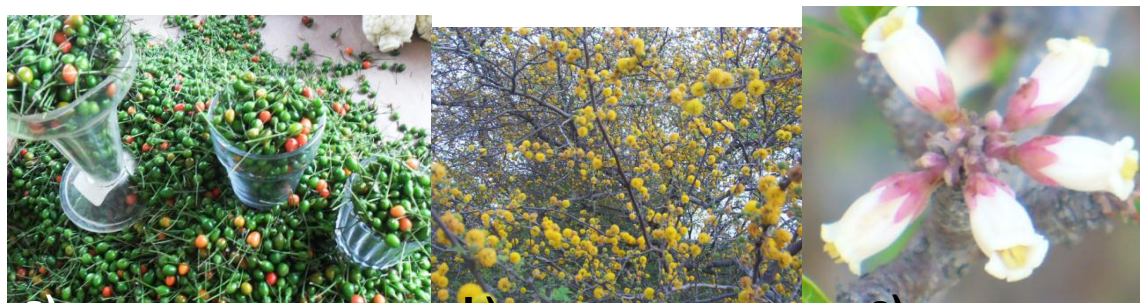


Figura IV.2.6-7. Plantas medicinales comunes en los matorrales de la cuenca: a) fruto de chile piquín de un mercado de Ciudad Victoria; b) huizache en flor; y c) floración de sangre de drago, en el MDR del valle de Jaumave.

Otra **PMed** muy conocida debido a su carácter oportunista y plasticidad es el huizache (*Acacia farnesiana*), que registró 1,170 referencias en el buscador; además de ser un árbol maderable, la **MTM** la refiere para el cuidado de picadura de insectos, empacho,

disentería, ginecológicos, piel, aftas bucales, tos, espanto, diarrea, antiséptico, dolor de cabeza y- cataratas. En las porciones más secas, así como siendo parte del MDR, son populares especies como la sangre de drago (*Jatropha dioica*); esta planta, a pesar de sus pocos registros en Google Académico™ (117) ha venido popularizándose debido a su uso cosmético, y la **MTM** la reporta como auxiliar contra la caída del cabello, antiinflamatoria y para la piel, ojos, muelas, etc. Sin embargo, [Hernández, et al. \(1991\)](#) reportan que su raíz, corteza y látex son medicinales, pero las hojas y la semilla son tóxicas y la corteza es curtiente.

En cuanto a la distribución espacial del SSAA de disponibilidad de **PMed**, en el mapa de la Figura IV.2.6-8 se aprecian las mayores densidades de **Tpmed**, como se ha venido analizando, en las coberturas de selvas bajas y vegetación secundaria de la porción centro y sur de la cuenca. Es notoria la disminución del SSAA hacia las zonas serranas, puesto que [Hernández, et al. \(1991\)](#) identificaron una menor cantidad de especies con uso medicinal porque los pobladores no saben suficiente de ellas, debido a que en general tienen poco de haberse establecido. Parte de esto pudo corroborarse en campo, ya que en algunas entrevistas de la alta montaña de Miquihuana, las personas dijeron estar concientes de que existe gran cantidad de **PMed** en su entorno, pero sólo conocen unas pocas; aunque debe señalarse que algunos de ellos sí eran originarios de la zona.

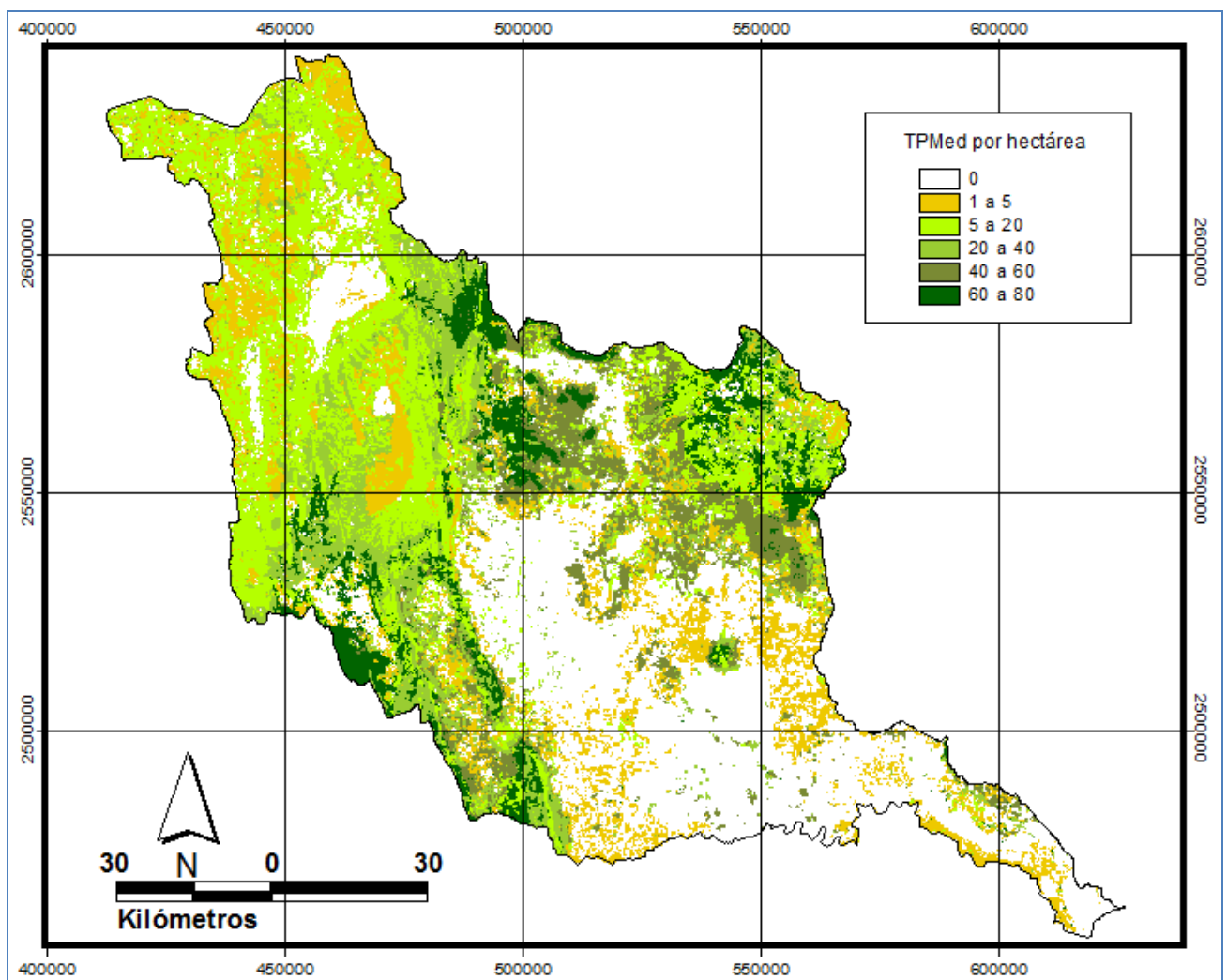


Figura IV.2.6-8. Distribución espacial del SSAA de disponibilidad de PMed usadas en el tratamiento de E/P comunes.

En otras partes del mundo, se sigue la tendencia de la pérdida de los usos tradicionales de plantas; por ejemplo, [Lagos-Witte \(2005\)](#) analiza que ese conocimiento de **PMed** se encuentra bajo amenaza en la cuenca caribeña, debido en ese caso a la pérdida de sistemas de cultivo tradicionales aunada a la conversión de ecosistemas. Por su parte, en zonas de alta montaña de la cuenca, la población ha ido disminuyendo; esto, en conjunto con la instalación en la última década de un consultorio del **IMSS**, (Sr. Noé, residente y originario de El Aserradero, Miquihuana, com. pers., 2013) han sido las causas más probables de que ya no existan “curanderos”, “hierberos” o parteras auxiliares certificadas por el **IMSS**. Ya sólo quedan algunos, de acuerdo con [Guerra \(En Prep.\)](#), en los valles intermontanos de los municipios del Altiplano (Figura IV.2.6-9); unos han migrado hacia la capital del estado, y los que quedan prácticamente rebasan los 70 años (excepto dos, que tienen más de 60), y sólo en dos casos han heredado esta práctica a sus hijos.



Figura IV.2.6-9. Doña Juanita, partera auxiliar certificada por el IMSS en Tula, con *Plectranthus* sp. Ninguno de sus nueve hijos se dedicó a la medicina tradicional, que ella aprendió de su madre y abuela.

Por otro lado, [Hernández, et al. \(1991\)](#) encontraron un segundo patrón en la distribución de las especies de **PMed**, ya que la cantidad inventariada de plantas útiles disminuye hacia el norte y hacia el oriente; son las zonas donde más aprovechamiento agropecuario se ha desarrollado. Cardenal (1994, EN [Lagos-Witte, 2005](#)) coincide con el grupo de Hernández al afirmar que los cambios de bosque a otros usos perturban principalmente a las especies nativas, lo que también afecta las prácticas tradicionales de uso y cultivo que se asocian con el manejo de los recursos naturales a nivel local.

Ya dentro de un contexto sociopolítico, se observó que el número promedio de **TPMed** disponibles en cada municipio, es directamente proporcional a la densidad de selvas bajas en su territorio. Por ello, Nuevo Morelos, Llera y Antiguo Morelos superan los 30 **TPMed** por hectárea. Le sigue el grupo de municipios con superficies importantes de una combinación de selvas y bosques templados; posteriormente el grupo donde domina la combinación de bosques y matorrales semidesérticos, ubicados en el Altiplano; y, finalmente, los municipios con mayor proporción de su territorio dedicado a las actividades humanas. Esta información se observa en el Cuadro IV.2.6-3.

Cuadro IV.2.6-3. Promedio de TPMed por unidad de superficie en los municipios de la cuenca.

Municipio	TPMd/Ha promedio	Municipio	TPMd /Ha promedio
Nuevo Morelos	39.46	Jaumave	10.98
Llera	34.02	Miquihuana	8.59
Antiguo Morelos	32.61	Gómez Farías	8.52
Ocampo	29.00	Palmillas	8.48
Casas	27.45	Bustamante	8.12
Xicoténcatl	18.93	Güémez	6.88
Victoria	16.81	El Mante	5.80
Aldama	14.48	Altamira	4.01
Tula	13.38	Tampico	0.76
González	13.38	Ciudad Madero	0.42

IV.2.6.1. Evaluación socioeconómica

Las personas de la cuenca hacen uso directo de las plantas de su entorno, generalmente en relación con su nivel socioeconómico y factores culturales; esto de acuerdo a lo que observaron [Hernández, et al. \(1991\)](#) en el inventario que da origen a la distribución biofísica de este SSAA. Ellos mencionan que las plantas son más buscadas como “remedio” (medicinal) que como alimento, especialmente en las zonas rurales (sitios que en la región son los económicamente menos favorecidos). En los centros urbanos, aún existen “curanderos”, que hacen uso cotidiano de las **PMed**, pero generalmente lo asocian a la práctica tradicional conocida como “santería”; como la mayoría de la población es católica, y esta se opone dicha práctica, es probable que esto sea uno de los factores por los que ha disminuido la curación por medio de remedios naturales.

Varias especies de estas plantas se venden en los mercados locales de los centros urbanos, a través de negocios conocidos como “hierberías” (Figura IV.2.6-10), por lo que cuentan con un valor directo. Por ello, algunos campesinos las colectan artesanalmente del ecosistema, muchas veces para obtener ingresos económicos (generalmente muy escasos y esporádicos). Además, algunas son parte de vegetación secundaria, e incluso son consideradas como “malezas”, por lo que son infravaloradas por la población local. Sin embargo, a nivel mundial dicho valor (en términos de producción y consumo de plantas medicinales) ha sido uno de los aspectos que ha sacado a debate el valor *económico* de la biodiversidad ([Toledo, 1998](#)).

[Toledo \(1998\)](#) menciona que las plantas medicinales se usan tanto en medicina tradicional, como formando parte de productos farmacéuticos. Por ello, sugiere tres formas de evaluar las **PMed**: de acuerdo con su valor directo en el mercado, el de los productos



Figura IV.2.6-10. Venta de hierbas medicinales en el interior del mercado municipal de Ciudad Mante.

farmacéuticos que contienen los ingredientes activos de las **PMed**, o el de dichos productos en términos de su capacidad para salvar vidas. En el presente trabajo se trató de evaluar las dos formas de uso mencionadas por Toledo (1998): primero se estimó directo de los medicamentos que sustituyen el uso de PMed en la población local, similar a la valoración de Durán, *et al.* (2007); segundo, el valor de cuasi-opción de los productos que podrían elaborarse con un ingrediente activo presente en una especie de cada LULC.

Emerton y Bos (2004) señalan que, como ocurre con las **PMed** en la cuenca y otros bienes y servicios del ecosistema, es poco probable obtener las cantidades reales que son producidas o consumidas en una determinada región. Sucede especialmente cuando ese proceso se desarrolla en nivel de subsistencia o cuando tienen altos niveles de sustitución o de complementariedad con otros, muchas veces debido a que su disponibilidad es estacional o esporádica. Para obtener un número objetivo de los usos que las personas hacen de las plantas de su entorno, Balick y O'brian (2004) realizaron diversas entrevistas en Belice y utilizaron la curva de uso múltiple para averiguar cuántas colecciones o entrevistas eran suficientes para saber si se estaban incluyendo todos los usos posibles de especies vegetales seleccionadas, en un sitio específico; encontraron que para *Vitex gaumeri* se necesitaron poco más de una decena de entrevistas para que se observaran seis distintos usos y no encontrar otro; mientras que para *Bursera simaruba* con poco más de 130 entrevistas encontraron 16 usos diferentes.

Esto es importante de resaltar, debido a que la información y datos utilizados, así como los resultados obtenidos en el presente modelo son apenas una fracción de lo que puede estar sucediendo en la realidad. Se construyó el modelo biofísico con base en un solo inventario de PMed que data de 1991, y su valor de uso fue obtenido asumiendo que existen el mismo número de especies en los ecosistemas de la cuenca; sin embargo, considerando las dificultades de cuantificar datos de **PMed** (señaladas por Emerton y Bos, 2004 y por Balick y O'brian, 2004), se evaluó también su valor de cuasi-opción, como sugieren GMx y BM (1995). A continuación se presentan primero el valor de uso, basado en el modelo biofísico; y enseguida se presenta el valor de cuasi-opción de los ecosistemas de la cuenca.

A) Valor del ahorro social por uso de PMed.

Cuando el 20% de la población que se ve afectada por una enfermedad o padecimiento común (en su forma menos grave o por una crónico-degenerativa), utiliza para su alivio las plantas medicinales disponibles en su entorno, la sociedad de la cuenca obtiene como mínimo un ahorro de 12'551,886.27 € al año. Esto significa un promedio general de 8.42 €/Ha anuales, con un rango muy amplio que va desde menos de un euro hasta superar los 1,200, como se muestra en la distribución espacial de este SSAA en la Figura IV.2.6-11.

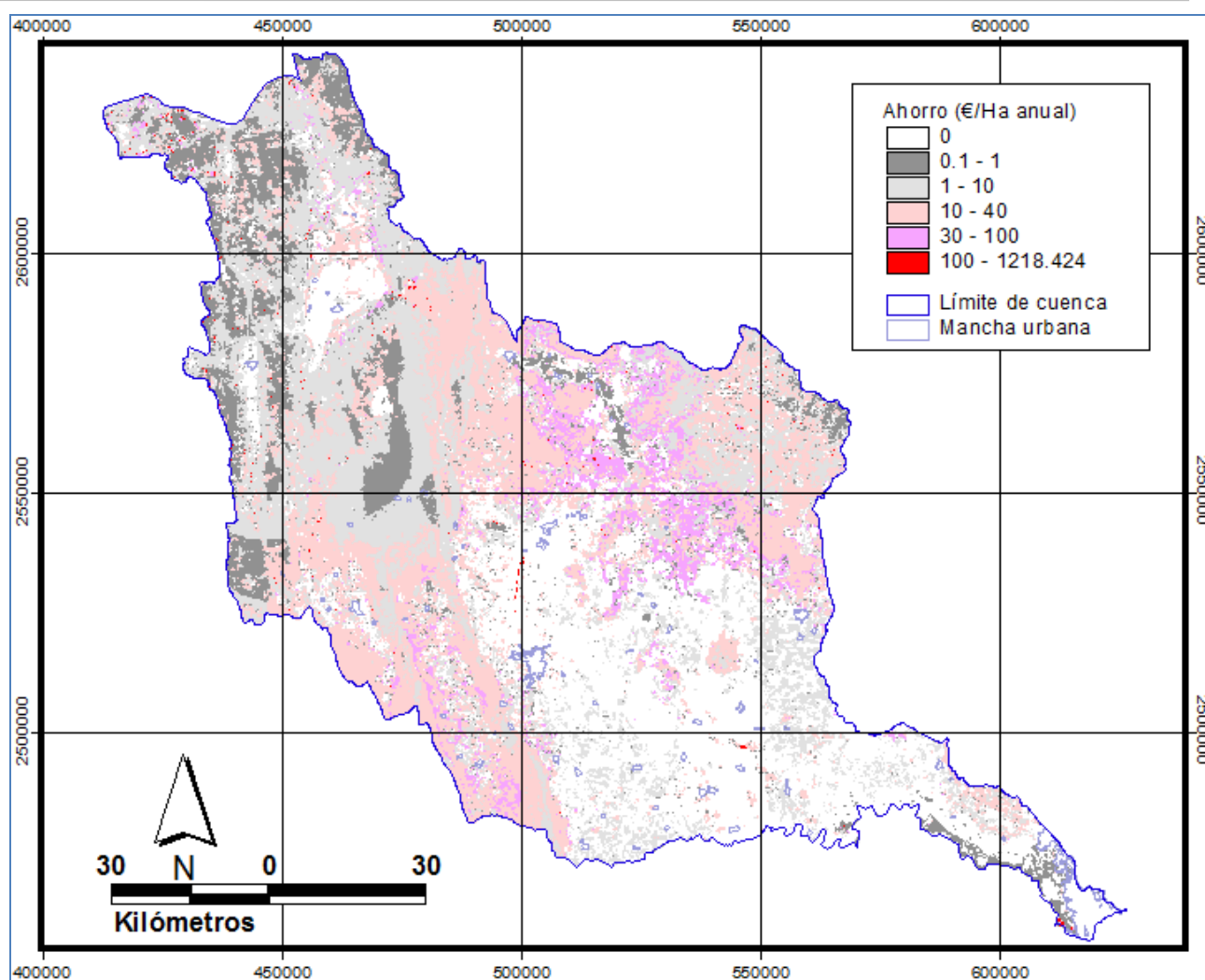


Figura IV.2.6-11. Distribución espacial de los valores de ahorro social por uso de PMed, por unidad de superficie.

El SSAA se manifiesta a través de ese ahorro, dado por los valores de cada LULC, que una vez ponderados también reflejan su calidad como hábitat para la biodiversidad de **PMed** en el área de estudio. Por lo tanto, los LULC con menos exposición a las amenazas antropogénicas tienden a mantener el número de especies y tratamientos original, así como los valores teóricos de ahorro. El hecho de que el ecosistema general se encuentre afectado por actividades humanas ocasiona una disminución del SSAA de 74.3% de su valor teórico.

En el Cuadro IV.2.6-4 se observa que, en general, los LULC que aportan mayor ahorro por este concepto son los que cuentan con a) mayor número de **TPMd** para atender **E/P** crónico-degenerativas (diabetes y enfermedades nerviosas); b) número de **TPMd** mayor a 50; y c) en general, menos de 50% de disminución del valor teórico al ponderar con calidad de hábitat (excepto PZI). Por estos motivos, y aunque la SBC tiene un mayor número de **TPmd**, la SBCvs y la SBEhzch generan mayores ahorros por este SSAA, aportando, en conjunto, poco más de la mitad del valor total. Las coberturas secundarias cuentan, por una parte, con una mayor abundancia de especies oportunistas y naturalizadas respecto a la cobertura primaria; y por otra, con una mayor accesibilidad para los habitantes de la cuenca.

Cuadro IV.2.6-4. Ahorro social anual por uso de TPMd en cada LULC del área de estudio.

LULC	Número de TPMd	Valor TPMd (€/año)			Pérdida (%) Teórico/ahorro	% de Ahorro total
		Por hectárea	Por LULC, sin ponderar (teórico)	Por LULC, ponderado (ahorro por el SSAA)		
SBCvs	226	30.86	3'076,240.93	2'524,304.66	-17.94	20.11
SBEhzh	214	42.18	2'553,998.86	2'328,759.32	-8.82	18.55
SBC	320	13.87	1'607,358.93	1'529,328.17	-4.85	12.18
MZQvs	153	40.96	1'755,490.90	1'145,412.25	-34.75	9.13
SMSC	101	10.13	805,503.27	777,760.33	-3.44	6.20
PZI	182	164.84	1'791,757.85	655,570.71	-63.41	5.22
MSM	72	7.83	621,594.00	572,198.20	-7.95	4.56
BEBPEvs	68	18.04	589,199.01	561,526.11	-4.70	4.47
MZQ1	52	75.23	579,905.26	502,632.82	-13.33	4.00
MDR	52	7.63	419,991.28	396,804.03	-5.52	3.16
AGTApzi	159	11.61	1,586,595.35	377,082.73	-76.23	3.00
RIPA	44	1,218.42	394,769.29	318,918.62	-19.21	2.54
PALM	52	51.28	394,743.84	307,600.05	-22.08	2.45
SAMS	48	7.02	225,621.56	212,757.42	-5.70	1.70
MAN	11	724.81	186,277.36	166,659.46	-10.53	1.33
BE	81	1.13	94,029.55	86,799.07	-7.69	0.69
BMM	28	1.22	35,216.84	31,568.92	-10.36	0.25
BP	23	0.96	28,917.18	24,595.09	-14.95	0.20
BPE	20	0.25	17,942.69	15,108.88	-15.79	0.12
BT	15	3.62	12,947.97	9,402.92	-27.38	0.07
TUL	5	0.42	6,130.35	2,083.25	-66.02	0.02
AGTP	15.9	1.85	16,302.11	1,388.69	-91.48	0.01
INU	10	10.44	6,669.38	968.68	-85.48	0.01
PZC	15.9	0.25	16,302.11	962.70	-94.09	0.01
QUE	15.9	0.51	16,302.11	779.66	-95.22	0.01
AGTA	15.9	0.12	16,302.11	651.68	-96.00	0.01
URBA	15.9	0.79	16,302.11	182.49	-98.88	0.001
AGUA	10	0.22	6,669.38	79.37	-98.81	0.001
AGR	15.9	0.1	16,302.11	0	-100	0
DESN	0	0.1	3,835.80	0	-100	0
TOTALES			16'895,383.70	12'551,886.27	-74.28	

Los LULC con menores aportaciones son los que pierden su valor una vez ponderados con la calidad del hábitat debido a su bajo número de **TPMd**. Es el caso de las coberturas dedicadas a las diferentes actividades humanas, zonas inundables y tulares. Por su parte, las coberturas primarias de bosques templados aportan también valores menores de 1% del total, ya que, a pesar de encontrarse bien conservados, tienen un bajo número de **TPMd** inventariados.

El manglar aporta más que los bosques, pues aunque tiene menos **TPMd** una es para tratar la diabetes, mientras que los bosques no registran ninguno de este tipo; esto, aunado a su escasa superficie, le da un muy alto valor por hectárea. De forma similar al

manglar, la vegetación riparia, de escasa cobertura, cuenta con tres **TPMd** enfermedades nerviosas y dos para diabetes, por lo que da el valor por hectárea más alto en la cuenca.

En la investigación bibliográfica no se encontraron registros de una evaluación socioeconómica realizada –como en el presente estudio– con base en los **TPMd** que cada especie de un ecosistema ofrece a la sociedad. En general, se basan en el valor de casi-opción de las sustancias medicinales que pueden encontrarse (que se analiza más adelante), o en el precio directo de mercado de las especies de **PMed** en las zonas de estudio (Robinson y Shan, 2011, refieren que en 2008 el valor de mercado de la medicina tradicional fue de 83 mil millones de **USD**). Debido a esto, generan valores mucho más altos que los estimados en el presente trabajo.

Por ejemplo, Balick y Mendelsohn (1992) obtuvieron valores de 726 a 3,327 **USD** (de 1992)/Ha anuales por concepto del precio de mercado local de las **PMed** cosechadas en diferentes bosques de Belice. Este es un valor de uso directo, obtenido de los precios de mercado, y resultó más rentable comparado con la agricultura o las plantaciones de pino. Otro ejemplo del valor comercial de las **PMed** en esa misma década lo da GMx y BM (1995), quienes señalan que en mercados mexicanos las especies medicinales se vendían de 6 a 23 **USD** (de ese año) por kilo.

Por su parte, Durán, et al. (2007) utilizaron la técnica del beneficio bruto de Gómez (2002, que depende del beneficio potencial, el precio comercial y la superficie) para obtener el valor por hectárea de las existencias de individuos de nueve **PMed**; estimaron un valor total de 2,079.72 €/Ha (a octubre de 2011) anuales por sus dos sitios de estudio. Tres de las **PMed** que incluyeron se encuentran presentes en la cuenca: *Tumera ulmifolia*, *Bursera simaruba* y *Chiococca alba* que obtuvieron respectivamente 131.7, 271.36 y 678.48€/Ha anuales.

En lo referente al valor de este SSAA por municipio, resultó que González, Llera, Jaumave, Ocampo y Xicoténcatl aportan el 74.22% del total en la cuenca; todos ellos con valores individuales de más de un millón de euros anuales. Al combinarse en el territorio de cada municipio diferentes LULC, los valores promedio por hectárea tienden a ser sensiblemente más homogéneos comparados con los de dichos LULC. En general, la aportación de los municipios va de acuerdo con su superficie, presentando anualmente valores de 14 a 52 €/Ha, como se muestra en el Cuadro IV.2.6-5.

Ya en casos particulares, Tampico fue el que alcanzó un mayor valor del SSAA por unidad de superficie, prácticamente duplicando el rango superior del resto de municipios; esto se debe a que parte de su escasa superficie se encuentra cubierta por manglar, que aporta en promedio 724 €/Ha año. Le siguen en orden los municipios de mayor superficie y cobertura de SBC, SBCvs y SBEhzch. Mientras que, en el extremo inferior por su aportación total y por hectárea, se encuentran los municipios de menor superficie en la cuenca. De ellos, resalta Ciudad Madero, con una aportación cercana a cero por estar totalmente urbanizada; aunque esto no necesariamente significa que en la ciudad no se valoren las plantas medicinales, definitivamente es donde menos se usan, debido a su poca accesibilidad y a la existencia de un mayor número de sustitutos (principalmente la medicina occidental).

Cuadro IV.2.6-5. Ahorro social anual por uso de TPMd en cada municipio del área de estudio.

Municipio	Valor TPMd		%	Municipio	Valor TPMd		%
	Promedio (€/ha año)	Total (€/ha año)			Promedio (€/ha año)	Total (€/ha año)	
González	49.50	2,783,918.07	22.19	Palmillas	18.48	233,728.82	1.86
Llera	21.55	2,408,954.14	19.20	Altamira	42.25	183,935.05	1.47
Jaumave	20.86	1,624,810.49	12.95	Tampico	96.08	153,696.06	1.22
Ocampo	22.23	1,414,329.64	11.27	Victoria	18.76	120,454.93	0.96
Xicoténcatl	49.27	1,080,783.58	8.61	Tula	17.73	115,744.03	0.92
Antiguo Morelos	21.47	868,622.82	6.92	Güémez	18.05	24,202.85	0.19
El Mante	52.56	511,412.85	4.08	Bustamante	14.48	9,567.76	0.08
Gómez Farías	43.06	344,051.61	2.74	Nuevo Morelos	7.59	598.98	0.00
Miquihuana	22.48	335,021.54	2.67	Aldama	7.78	566.59	0.00
Casas	18.68	333,320.76	2.66	Ciudad Madero	0.29	47.74	0.00

Es necesario resaltar la idea de que, para la iniciativa privada un bien abundante (por ejemplo, muchas especies que puedan producir un mismo fármaco) reporta bajos ingresos (por la ley de oferta/demanda) y es de bajo valor de bioprospección, pues tiene altos niveles de sustitución de una especie por otra, como en el caso de varios TPMd para la misma E/P en un LULC. Lo más posible es que esto baje el valor de algún fármaco que pueda producirse a partir de esas especies, pero la sociedad de la cuenca gana, pues lo que se valoró en este análisis es la disponibilidad de TPMd que evita al gobierno el gasto en dichos tratamientos, sin incluir otros como los costos de traslado, mayor número de consultas, días de trabajo perdidos, etc.

B) VALOR DE CUASI-OPCIÓN

En la naturaleza, los organismos producen las sustancias necesarias para su sobrevivencia, y algunas de ellas son o pueden ser útiles para la especie humana; como por ejemplo la producción de fibras, alimentos, fertilizantes o fármacos (Simpson, *et al.*, 1996). Por lo tanto, los organismos productores y el hábitat en donde viven tienen un valor económico para la humanidad, ya sea conocido o por conocerse. Dicho valor puede ser altamente significativo cuando se trata de la lucha contra las enfermedades, la preservación de la salud y otros aspectos medicinales. Kiss (2004) señala que estos usos no conocidos pueden salir a la luz a través de “bioprospección”, pues es un proceso “amigable” con la biodiversidad, ya que es la información genética, y no los organismos, lo que se busca con fines de lucro. Craft y Simpson (2001) refieren que este proceso “se ha desarrollado como mecanismo y como un motivo para conservar la biodiversidad”, por lo que algunos investigadores han estimado el valor de la biodiversidad en la bioprospección (Simpson *et al.*, 1996; Simpson y Craft, 1996; Figueroa, *et al.*, 2010; entre otros).

Toledo (1998) estima que, en los países en desarrollo existen más de 35 mil especies de plantas que pueden contener una sustancia con valor farmacéutico (Figura IV.2.6-12); cada uno de esos fármacos tiene un precio en el mercado que puede ir de 35 mil a 47,000 millones de dólares, a precios del año 2000. Ahora bien, según GMX y BM (1995), la posibilidad de que un descubrimiento futuro en cierto hábitat encuentre una de esas especies (o dé utilidad farmacéutica a una que actualmente no la tenga), otorga el llamado valor de cuasi-opción a ese hábitat. Si se considera la poca investigación de

sustancias medicinales en las especies mexicanas (1% de ellas, estimado hace 20 años por Argueta *et al.*, 1994, EN [González, 2010](#)), el valor de cuasi-opción podría ser altamente significativo para las comunidades vegetales del país.



Figura IV.2.6-12. Asterácea sin identificar, en uno de los bosques menos estudiados en cuanto a plantas medicinales, el mixto de pino y encino, aproximadamente a 2,700 msnm en el municipio de Miquihuana.

De acuerdo con esto, el valor de cuasi-opción por la posibilidad de encontrar al menos una sustancia farmacéutica útil en cada LULC la Cuenca asciende a 4'697,283.77€ anuales. Este resultado es coherente con las estimaciones de [GMX y BM \(1995\)](#) para el país pues, en proporción respecto a la superficie de la cuenca (y deflactado desde 1996), su valor más bajo (6'843,830€) es 95.8% del valor no ponderado resultado del presente trabajo (7'140,740€). En el Cuadro IV.2.6-6 se presentan estos valores de cuasi-opción desagregados para cada uno de los LULC de la cuenca.

IV.2.6-6. Valores anuales de cuasi-opción por encontrarse un fármaco exitoso (Vp) en cada LULC de la cuenca.

LULC	Vp (€/ha) Teórico/pond.	Vp- LULC teórico (€)	Vp-LULC ponderado (€)	LULC	Vp (€/ha) Teórico/pond.	Vp- LULC teórico (€)	Vp-LULC ponderado (€)
SMSC	20.43/17.21	1'625,490.00	1'368,680.87	BP	2.30/1.61	69,354.00	48,513.56
SBEhzhch	16.91/15.09	1'023,617.00	913,861.29	PALM	9.08/5.26	69,891.00	40,516.21
MZQvs	27.46/12.42	1'177,083.00	532,356.74	TUL	7.89/2.42	115,916.00	35,576.93
SBC	3.09/2.57	357,977.00	298,152.66	AGTApzi	0.91/0.01	124,440.00	29,760.48
MSM	4.38/3.44	347,895.00	273,415.32	BT	16.10/6.43	57,581.00	22,997.09
SBCvs	3.59/2.16	357,977.00	214,956.22	PZI	11.45/1.44	124,440.00	15,636.58
BMM	6.06/5.11	174,754.00	147,465.15	PZC	1.77/0.22	113,981.00	14,264.51
SAMS	5.39/4.05	173,198.00	130,174.35	AGUA	3.77/0.09	115,916.00	2,912.93
MZQ1	21.01/15.99	161,942.00	123,242.33	AGR	0.22/0.01	37,994.00	2,267.34
BPE	2.05/1.55	147,693.00	111,551.35	AGTA	0.29/0.01	37,994.00	1,269.33
BE	1.72/1.16	142,785.00	95,883.58	INU	104.04/0.90	66,481.00	574.19
MAN	371.44/312.52	95,461.00	80,318.56	DESN	0.53/0.01	20,456.00	411.18
BEBPEvs	2.83/2.23	92,412.00	72,895.86	AGTP	4.32/0	37,994.00	31.02
RIPA	205.19/192.55	66,481.00	62,386.37	QUE	3.49/0	111,486.00	0.00
MDR	1.30/1.04	71,595.00	57,211.78	URBA	0	20,456.00	0.00
TOTALES						7'140,740	4'697,283.77

Los resultados por LULC dependen directamente del número de especies presentes, y de su nivel de calidad como hábitat. Por ello, el valor por este SSAA de la SMSC supera el millón 300 mil euros anuales, pues presenta un alto índice de biodiversidad en México y buen estado de conservación en la cuenca. En forma similar, las comunidades asociadas con sistemas desérticos, con alta diversidad, buena presencia en la cuenca y niveles medios de conservación obtuvieron valores destacables, alcanzando el segundo y tercer lugar respecto a los otros LULC. En el caso del MZQvs, resultó ser el ecosistema no acuático de mayor valor por hectárea, debido a su relativamente pequeña superficie en la cuenca.

Los valores más altos por unidad de superficie dependen de la densidad del SSAA, por lo que fueron encontrados en los LULC más pequeños de la cuenca, asociados a sistemas acuáticos. Por el contrario, ecosistemas de bajos valores por superficie (menores de 5 €/ha año), pero bien distribuidos en la cuenca, generan un valor de cuasi-opción en su territorio de más de cien mil euros al año cada uno; en este rango se encuentran principalmente bosques templados, así como selvas bajas y altas.

En el rango más bajo, los LULC con menor calidad de hábitat, (en general, los más antropizados) o más, con valores totales que no superan los 16 mil euros anuales cada uno; en general presentan valores de menos de un euro anual por hectárea. La distribución espacial de este SSAA de acuerdo con sus valores por hectárea se puede observar en la Figura IV.2.6-13.

Otros autores (citados posteriormente) que han calculado los valores de cuasi-opción han encontrado montos muy por debajo de los de este análisis o de los de [GMX y BM \(1995\)](#). Esto es porque se basaron sólo en el número de especies en riesgo de extinción o endémicas, puesto que buscaban el valor de medicamentos diferenciados y no el valor general.

Las estimaciones de [Pearce y Puroshothaman \(1992\)](#), arrojaron un rango de “muy bajo” al más alto, de \$420 USD/ha (que fácilmente podrían rondar los mil euros actuales); aunque sugieren que los valores reales deben ser mayores, debido a que la deforestación de selvas tropicales pone en riesgo a muchas otras especies. [Simpson y Craft \(1996\)](#) señalan que ese método (utilizado también por otros autores) no es completamente satisfactorio en una evaluación económica. Argumentan que no permite la competencia potencial entre diferentes productos derivados de diferentes fuentes, ya que las especies no presentan las mismas probabilidades de generar un compuesto activo que pueda usarse como base de un fármaco comercialmente exitoso.

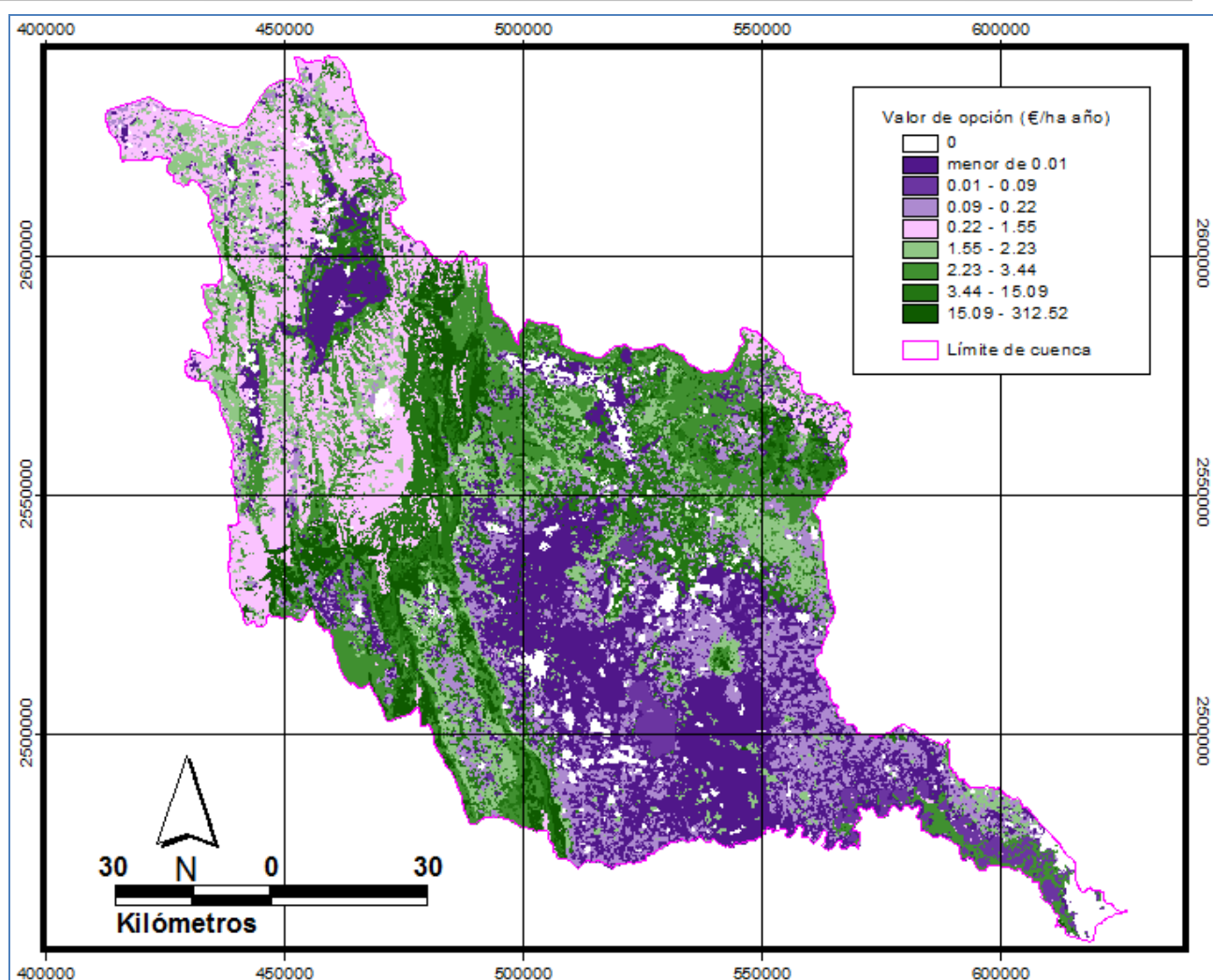


Figura IV.2.6-13. Distribución espacial del valor de opción por fármacos en los LULC, por unidad de superficie.

En su trabajo, [Simpson y sus colaboradores \(1996\)](#) se basaron en la **WTP** de algunos investigadores farmacéuticos, por la biodiversidad como insumo de los productos comerciales. Calcularon la máxima **WTP** para que sea conservada una hectárea marginal de biodiversidad en varios “hotspots” del mundo; este dio como resultado un rango de 0.2 a 20.63 **USD** (0.47 a 48.27 euros actuales) al año por unidad de superficie, asignando una mayor **WTP** a sitios con la mayor densidad de especies endémicas. [Toledo \(1998\)](#) encontró valores similares, de 0.01 a 21 **USD** por año en una “hectárea representativa de tierra” en selvas tropicales y sus especies en riesgo.

[Naidoo y Ricketts \(2006\)](#) consideraron los niveles de calidad de hábitat, ya que asumieron que un bosque bien conservado (y bajo protección) es más biodiverso que sitios con niveles de degradación (ver el comentario en la Figura IV.2.6-14). Su estudio, con especies endémicas en Paraguay dio como resultado 2.21 **USD** anuales por hectárea, equivalentes a 1.93 euros

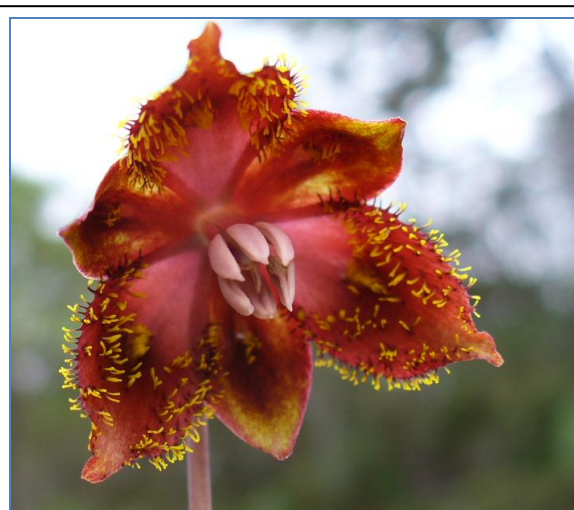


Figura IV.2.6-14. Herbácea sin identificar fotografiada en 2006 a 2,800msnm en el BPEVs de Miquihuana. La zona sufrió un incendio en 2011, y esta especie no se ha vuelto a observar en recorridos posteriores. No es posible conocer la biodiversidad perdida en ese evento.

de 2011. Calculó que una “hectárea representativa” de selvas tropicales en el mundo, tiene un rango de valores de cuasi-opción que va de 0.01 a 21 **USD** anuales (0.016 a 33.25 euros actuales) basándose en el número de especies en riesgo.

Durán, *et al.* (2007) modificó el método de evaluación, utilizando los precios de mercado de algunas especies medicinales seleccionadas para dos sitios dentro de un área protegida en Cuba. Estimaron el valor de cuasi opción en un rango de 0.056 a 0.1619 €/Ha anuales. Por su parte, Figueroa (2010), estimó el valor marginal de una especie, basándose en los ingresos netos esperados de un nuevo producto farmacéutico proveniente de dicha especie, el número de especies disponibles para realizar la prospección (sólo endémicas de su área de estudio), así como los costos del proceso y las probabilidades de encontrar el fármaco. Su estudio se desarrolló en espacios naturales bajo protección legal en Chile, y arrojó un rango de \$0.033 a 9.77 **USD**/Ha anuales de 2010.

Sin embargo, estos autores elaboraron sus análisis buscando precisamente el valor económico de sitios y especies con fines de bioprospección; por lo tanto, el ajuste hecho por **GMX y BM** es más adecuado, si de lo que se trata es de dar un valor socioeconómico, ya que precisamente otorga la misma posibilidad unitaria a cada factor (LULC en este caso). Simpson y Craft (1996) adaptaron ese mismo método para obtener un valor más “social”, usando los mismos parámetros y sitios que en el estudio de Simpson, *et al.* (1996), para obtener el valor de una hectárea marginal de un terreno para hacer bioprospección en su biodiversidad; este resultó ser 40 y 145 veces mayor en los



Figura IV.2.6-14. Herbácea sin identificar, fotografiada en 2006 a 3,100msnm en el BP de Miquihuana. La zona sufrió un incendio en 2011, y esta especie no se ha vuelto a observar en recorridos posteriores. Siendo un sitio tan aislado, la pérdida de biodiversidad ¿qué tanto afecta al bienestar social? ¿qué tanto la sociedad habría ganado si antes del evento el sitio se hubiese estudiado al nivel de bioprospección, aún sin encontrar un fármaco exitoso?

rangos respectivos: de 29 a 2,888 **USD** anuales (67.85 a 6,757.26 euros actuales). A la luz de estas discrepancias, Craft y Simpson (2001) sugieren que se debe ser “muy cuidadosos” para observar las diferencias entre los incentivos sociales y los privados, ya que ambos modelos pueden divergir ampliamente.

Simpson y Craft (1996) refieren que los valores de la biodiversidad relativos a la bioprospección suelen ser más bajos que el precio del terreno, e insignificantes si se compara con los valores comerciales de la producción de fármacos, aún en las regiones con mayor riqueza biológica en el planeta. Esto significa

que, debido a que la diversidad biológica es tan abundante, lo más factible es que, desde este punto de vista, una pérdida de dicha diversidad no afecte significativamente el bienestar social, aún si fuera catastrófica (ver el comentario de la Figura IV.2.6-15). Este se incrementa poco como resultado de encontrar un nuevo producto, pues una

especie marginal añade poca probabilidad de encontrarle, especialmente donde los productos útiles son escasos.

A este respecto, [Kiss \(2004\)](#) señala que existen pocos inversionistas que les atraiga la bioprospección, a pesar de ser vista como “amigable” para la biodiversidad (pues es la información genética lo que se usa con fines de lucro, y no los organismos), pues conlleva un alto nivel de riesgo. Por ello, los valores de cuasi-opción de la biodiversidad por este concepto han sido y permanecerán bajos. Refiere que, del “famoso” acuerdo para bioprospección de 1991, entre una compañía farmacéutica privada y el Instituto de Biodiversidad de Costa Rica, sólo 10% del dinero entregado y el 50% de las regalías fueron asignados a cuestiones de conservación.

Por estas razones, [Simpson y Craft \(1996\)](#) señalan que no deben usarse sólo este tipo de valores como argumento de conservación, pues resultan poco convincentes para invertir en ello. Sin embargo, pueden ser una de las bases socioeconómicas para proteger ecosistemas valiosos por su biodiversidad, pero que aportan bajos niveles de otros SSAA, como el caso de los matorrales semidesérticos.

C) VALOR TOTAL

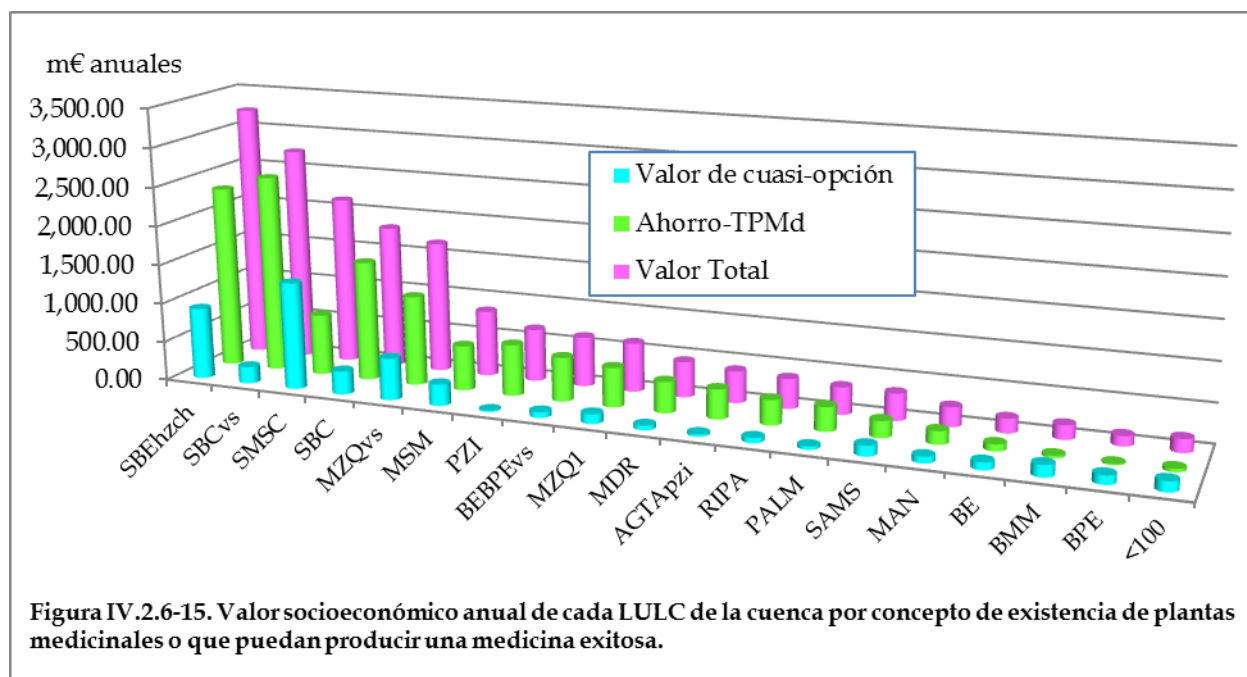
La biodiversidad de la cuenca representó para sus habitantes un valor mínimo de 17'249,170.04 euros en el año 2011, a razón de 31.5 promedio por hectárea, sólo por la disponibilidad de plantas con uso medicinal en sus ecosistemas. El Cuadro IV.2.6-7 muestra la contribución de cada uno de los LULC a este valor total, así como el promedio de su valor por hectárea.

IV.2.6-7. Valor anual mínimo de la biodiversidad de la cuenca por disponibilidad de plantas de uso medicinal.

LULC	€/ha año	m €/año	LULC	€/ha año	m €/año	LULC	€/ha año	m €/año
SBEhzch	53.555	3,242.62	AGTApzi	2.977	406.84	BT	9.060	32.40
SBCvs	27.478	2,739.26	RIPA	1,176.867	381.30	PZC	0.236	15.23
SMSC	26.982	2,146.44	PALM	45.222	348.12	AGUA	0.097	2.99
SBC	15.770	1,827.48	SAMS	10.674	342.93	AGR	0.013	2.27
MZQvs	39.145	1,677.77	MAN	961.004	246.98	AGTA	0.014	1.92
MSM	10.653	845.61	BE	2.201	182.68	INU	2.415	1.54
PZI	61.749	671.21	BMM	6.204	179.03	AGTP	0.161	1.42
BEBPEvs	19.430	634.42	BPE	1.762	126.66	QUE	0.024	0.78
MZQ1	81.198	625.88	BP	2.422	73.11	DESN	0.011	0.41
MDR	8.244	454.02	TUL	2.564	37.66	URBA	0.009	0.18

La mayor aportación a este aspecto de la biodiversidad proviene del grupo de las selvas semi secas. Si se suma el valor de este grupo, que participa con más de 1.5 millones de euros anuales cada uno, se alcanza el 67.4% del total. Se trata de ecosistemas con alto número de tratamientos tradicionales disponibles, una superficie importante en la cuenca, así como una alta biodiversidad, que resulta en alto valor socioeconómico tanto por ahorro social como por probabilidad de encontrar un fármaco exitoso. En el extremo contrario, los LULC más antropizados apenas aportan valor a este SSAA, con valores muy cercanos a cero; la excepción a esto son los pastizales inducidos y las zonas agrícolas abandonadas, ambos con alto número de TPMd.

De acuerdo con [Pearce y Puroshothaman \(1992\)](#), es de esperarse que los valores de cuasi opción por unidad de superficie de este SSAA sean menores que los de la medicina tradicional; en este caso, expresada como el valor de los **TPmd** disponibles en cada LULC. Así sucedió en su modelo y en gran parte de los LULC de este trabajo, aunque no fue así en los bosques ni en la SMSC, debido al alto número de especies (N) utilizado en la estimación. Una comparativa esquemática de los dos valores analizados de las medicinas en la biodiversidad de la cuenca se muestra en la Figura IV.2.6-15.



En cuanto a los valores promedio por hectárea, destacan nuevamente los LULC de mayor densidad debido a su escasa superficie, como el manglar y la vegetación riparia. También en este aspecto sobresale el grupo de selvas semisecas, con valores que van de 10 a poco más de 80 €/ha anuales cada uno. La distribución espacial de este SSAA con respecto a su valor anual por unidad de superficie se observa en la la Figura IV.2.6-16.

Dentro del contexto socio-político, se obtuvo que el valor de este SSAA en los municipios es dependiente de la extensión de su territorio. Por ello, las mayores contribuciones al monto total provienen de los municipios de mayor superficie; los seis que cuentan con un valor por este SSAA mayor a un millón de euros anuales, aportan casi el 81% del total. Si bien, no todos ellos cuentan con una alta densidad por unidad de superficie, ya que en este caso destaca Tampico con casi 129 € anuales, debido a que combina un escaso territorio y altos valores por este SSAA proporcionados por la presencia importante de manglar. Le siguen de lejos (casi un tercio menos que el valor en Tampico) los municipios con grandes extensiones de vegetación secundaria y de selvas bajas, con rangos de 40 a 54 € anuales. El resto de los municipios van de 10 a 25 €/Ha año, mientras que Ciudad Madero apenas alcanza 0.7€ por ser un municipio urbano.

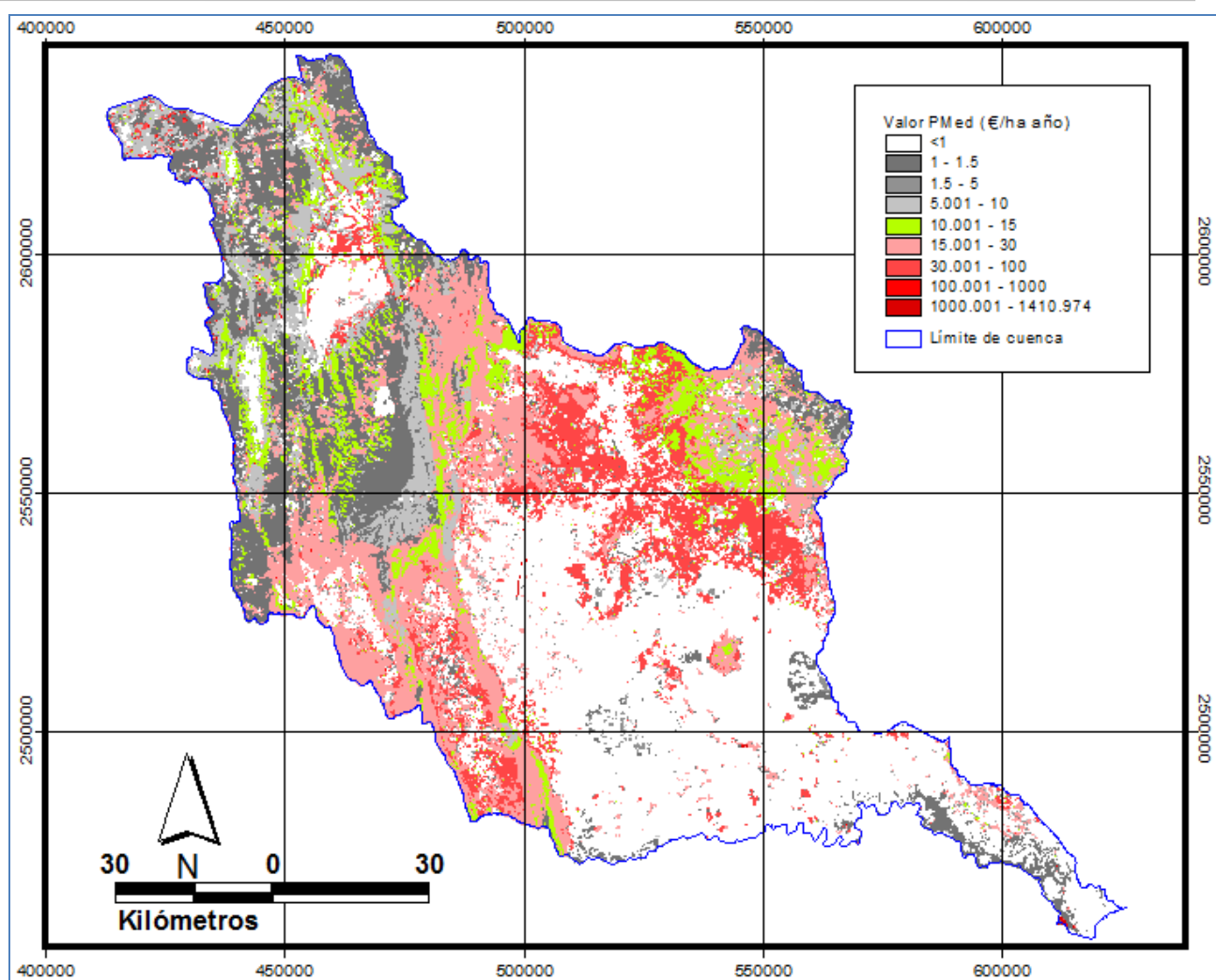


Figura IV.2.6-16. Valor de los ecosistemas por su disponibilidad de plantas medicinales

Al distribuir el valor de este SSAA entre los habitantes de la cuenca que viven en los municipios con más de 40% de su superficie en la cuenca, se obtiene que cada uno de ellos podría perder un promedio mínimo de 104.15 € anualmente si los ecosistemas de su entorno se afectaran al grado de no contener especies medicinales. En el contexto total, los menos afectados serían quienes habitan municipios con mayor superficie urbana, pues no alcanzan los 10 € *per cápita* anuales. Y en el extremo, los cinco habitantes del territorio victorense de la cuenca perderían cada uno más de 43 mil € al año si dejaran de contar con este SSAA.

Finalmente, para tener una idea de lo que este valor significa en la práctica, se contrastó contra el presupuesto anual asignado a cada municipio en 2011, de acuerdo con el número de habitantes dentro de la cuenca y de acuerdo con su extensión territorial. De acuerdo con los valores per cápita, los municipios con menor superficie en la cuenca ocupan ambos extremos del rango: en el superior, el SSAA otorga a sus habitantes tres veces más que el presupuesto, tratándose de municipios con poca población en la cuenca (Victoria, Casas, Miqihuana, Bustamante y Güémez); mientras que en el inferior son los municipios más urbanizados, con alto presupuesto y bajos valores del SSAA (Mante, Altamira, Tampico y Ciudad Madero), así como Aldama y Nuevo Morelos, sin habitantes en la cuenca.

De acuerdo con los valores por unidad de superficie, en los municipios de Casas y de Jaumave el valor del SSAA cuadruplica el del presupuesto anual por hectárea; mientras tanto, en aquellos más urbanizados y con mayor densidad poblacional, la tendencia se invierte, pues el SSAA apenas es una fracción menor al 30% del presupuesto por hectárea anual. Todos estos datos específicos para cada uno de los municipios se muestran en el Cuadro IV.2.6-8.

Cuadro IV.2.6-8. Valor anual del SSAA por la existencia de PMed en los municipios de la cuenca, y su relación con el presupuesto municipal para el año 2011 publicado por SecGen_Tam (2010a, b, c).

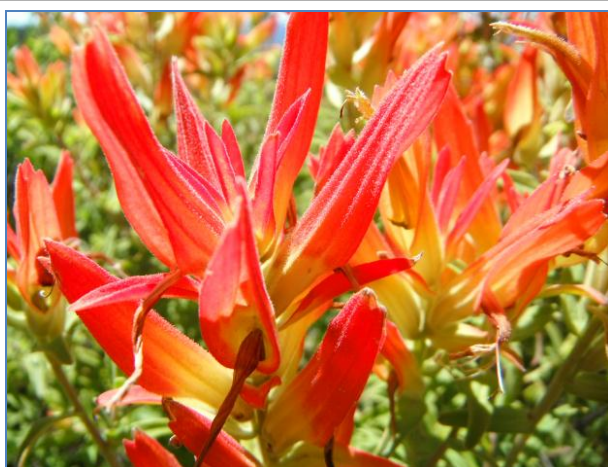
Municipio	Valor anual			Relación SSA :Presupuesto	
	Total (m€/año)	Promedio (€/Ha año)	Promedio (€/Hab. año)	€/Ha año	€/Habitante año
González	3,570.59	49.52	116.00	3.81	1.11
Llera	3,312.93	20.53	201.04	1.65	1.22
Jaumave	2,344.62	18.81	155.22	4.00	1.82
Ocampo	2,237.43	22.14	197.97	1.74	1.14
Xicoténcatl	1,375.98	53.08	60.18	1.55	0.48
Antiguo Morelos	1,115.39	23.68	130.99	0.82	0.72
El Mante	729.59	52.86	6.30	0.75	0.06
Gómez Farías	495.08	41.41	56.35	1.19	0.33
Casas	450.22	19.13	3,193.06	4.22	10.85
Miquihuana	376.95	17.11	1,821.01	1.49	5.27
Palmillas	313.20	13.91	174.87	0.71	0.33
Altamira	247.56	45.23	3.00	0.23	0.02
Tampico	230.42	128.99	0.78	0.03	0.01
Victoria	217.33	17.49	43,465.70	0.11	577.27
Tula	181.41	16.63	147.13	1.16	0.93
Güémez	35.72	15.52	435.56	0.83	3.02
Bustamante	11.52	12.29	1,151.65	0.87	4.80
Aldama	1.17	13.75	*	1.32	*
Nuevo Morelos	1.10	17.48	*	0.48	*
Ciudad Madero	0.33	0.70	0.002	0.0001	0.00001

* Aldama y Nuevo Morelos no tienen habitantes en la cuenca. >> El valor total es despreciable, y no es comparativo al presupuesto. Los municipios escritos en color **morado** tienen menos del 40% de su territorio dentro de la cuenca.

Como punto final de la valoración de este SSAA, se deben tomar en cuenta los señalamientos de varias ONG's y organizaciones indígenas recogidos por Jacanamijoy (2001 EN Aguilar, *et al.*, 2003), así como otras personas que han opinado informalmente durante el transcurso de esta investigación: no se debería asignar un valor económico a la biodiversidad y mucho menos deben "privatizarse" los conocimientos que pertenecen a la sociedad, por ser de índole tradicional, como el uso de las PMed. Aunque parezca contradictorio, la idea central de este trabajo concuerda con dichos señalamientos, pues la valoración del presente revela lo que la sociedad pierde o gana con la falta o presencia de los SSAA, y aunque este valor se expresa en términos monetarios, de ninguna forma es un precio. Precio es el valor económico de algo, y expresa lo que un particular gana o pierde; y como la biodiversidad y el conocimiento tradicional no pertenecen a ningún particular, entonces no tienen precio, pero sí tienen un alto valor que ningún particular podría pagar: es un valor social (socioeconómico).

Sin embargo, el hecho de que tanto la biodiversidad como los conocimientos tradicionales pertenezcan a todos y a nadie al mismo tiempo, los expone a que algún particular pueda hacer uso abusivo de los mismos. Es un hecho que, a partir del conocimiento tradicional, algunas empresas han identificado nuevas sustancias o procedimientos tecnológicos, que luego han patentado, sin que los generadores de esos conocimientos hayan obtenido beneficio alguno (Aguilar, *et al.*, 2003). Por ello, WHO (2001 EN Aguilar, *et al.*, 2003) expresa la necesidad de valorar la biodiversidad, para que la sociedad que posea los recursos cognitivos y biofísicos pueda obtener beneficios cuando existan ganancias generadas por dichos recursos.

Finalmente, es necesario señalar que el sólo hecho poner en perspectiva el valor de la biodiversidad y el conocimiento de las PMed en la cuenca, no es suficiente para evitar la presión sobre los mismos, ni la extracción ilegal que refieren Aguilar, *et al.* (2003). No es suficiente que los tomadores de decisiones conozcan estos valores para que puedan o



Castilleja sp., herbácea de la vegetación secundaria en zonas de pinos de Miquihuana, a 2,700 msnm.

quieran actuar. Hace falta que el conocimiento del valor socioeconómico se disperse por la misma sociedad, especialmente la que más en contacto se encuentra y más depende de estos recursos para su sobrevivencia: los habitantes con menor capacidad económica, que generalmente vive en las zonas rurales de la cuenca. En el transcurso de esta investigación, que se ha llevado toda una vida por la convivencia diaria y entrevistas personales con habitantes de la cuenca, estos hechos y necesidades han quedado más que claros.

IV.3. El valor socioeconómico de la Cuenca por sus SSAA

De acuerdo con Hawkins (2003), cuando llega el momento de que se tomen decisiones e implementen políticas respecto al uso del terreno, generalmente se basan en aspectos económicos; otros aspectos muchas veces son subestimados o hasta ignorados. Por este motivo, se han venido realizando un sinnúmero de esfuerzos para que de alguna forma se pongan cantidades monetarias a los valores que no están representados en los mercados. Entre estos, se encuentran los de los SSAA, cuyo valor es una aportación de los ecosistemas a la sociedad que vive de -y en- ellos.

Para conocer la dimensión del aporte de los ecosistemas a la sociedad tamaulipeca por concepto de los SSAA prestados, la presencia de cada uno de estos fue transformada a valores monetarios. Moran (2005) explica que de esta forma es posible contar con un punto de comparación para diferentes sitios y años. Además es posible sobreponer los mapas de distintos SSAA y obtener el valor total del área de estudio, así como sus indicadores por unidad de superficie y su contribución por cada habitante de su territorio. Estos indicadores se muestran en el Cuadro IV.3-1, que es un resumen de los modelos de SSAA estudiados.

Cuadro IV.3-1. Resumen de los modelos de SSAA evaluados y su aportación anual a la sociedad tamaulipeca.

SSAA	Indicador	Método	Valor Promedio €/Ha año	Valor total (M€/año)			Valor Per cápita (€/persona anual)
				Monto fijo 2011	Monto anual	Monto 2011	
Hábitat para la biodiversidad	Calidad del hábitat	Transferencia de valores	47.51		50.67	50.67	62.54
Almacén de carbono		Valor directo	2,573.82	2,020.75	935.74	2,956.49	3,649.27
Captura de carbono		Valor directo	48.79		74.07	74.07	91.43
Aporte de agua	Disponibilidad para consumo doméstico	WTP de agua transportada	121.41		181.02	181.02	223.44
Retención de nutrientes	Purificación del agua	Costo de reemplazo	188.22		35.23	35.23	43.48
Belleza escénica-terreno	Valor hedónico del terreno	Valor hedónico	1,968.10	2,934.36		2,933.68	3,621.12
Belleza escénica-empleo	Valor social del empleo rural en ecoturismo	Costo de oportunidad	458.29		166.09	166.09	205.01
Belleza escénica-factibilidad	Factibilidad para actividades turísticas y recreativas	Valor de opción (WTP)	481.61		1.35	1.35	1.67
Biodiversidad-PMed	Disponibilidad de plantas usadas en medicina tradicional	Costo de reemplazo	8.42		12.55	12.55	15.49
Biodiversidad	Posible fuente de fármacos	Valor de Cuasi-opción	20.25		4.70	4.70	5.80

Posteriormente, esos valores fueron sumados, obteniendo como resultado que los ecosistemas de la cuenca Guayalejo-Tamesí aportaron a la sociedad un **valor mínimo de 6,415.86 millones de euros en el año 2011**. Esto significó un valor anual promedio de alrededor de 5,200 € por hectárea y un aporte a cada miembro de la sociedad de 7,900 € por persona. El 78.3% está dado por los dos SSAA de características “fijas”: el valor del carbono almacenado en los ecosistemas persistentes y el valor hedónico del terreno. El resto son montos estimados con base anual.

La distribución espacial de este valor se muestra en la Figura IV.3-1, donde es posible observar que la concentración de sitios con los valores más altos coincide con las zonas de vegetación más conservada tanto de zonas serranas de selva y bosque, como de los principales afluentes y el perímetro de cuerpos de agua.

Para evitar confusiones, es sumamente importante recalcar que este mapa resalta los lugares que acumulan mayores valores sólo con respecto a los SSAA aquí analizados. De ninguna forma se considera que estos se acerquen al valor socioeconómico *total* de los ecosistemas, pues no se incluyeron otros SSAA como la protección ante las inundaciones, polinización, control de la erosión, recursos genéticos o importancia para especies endémicas, etc.

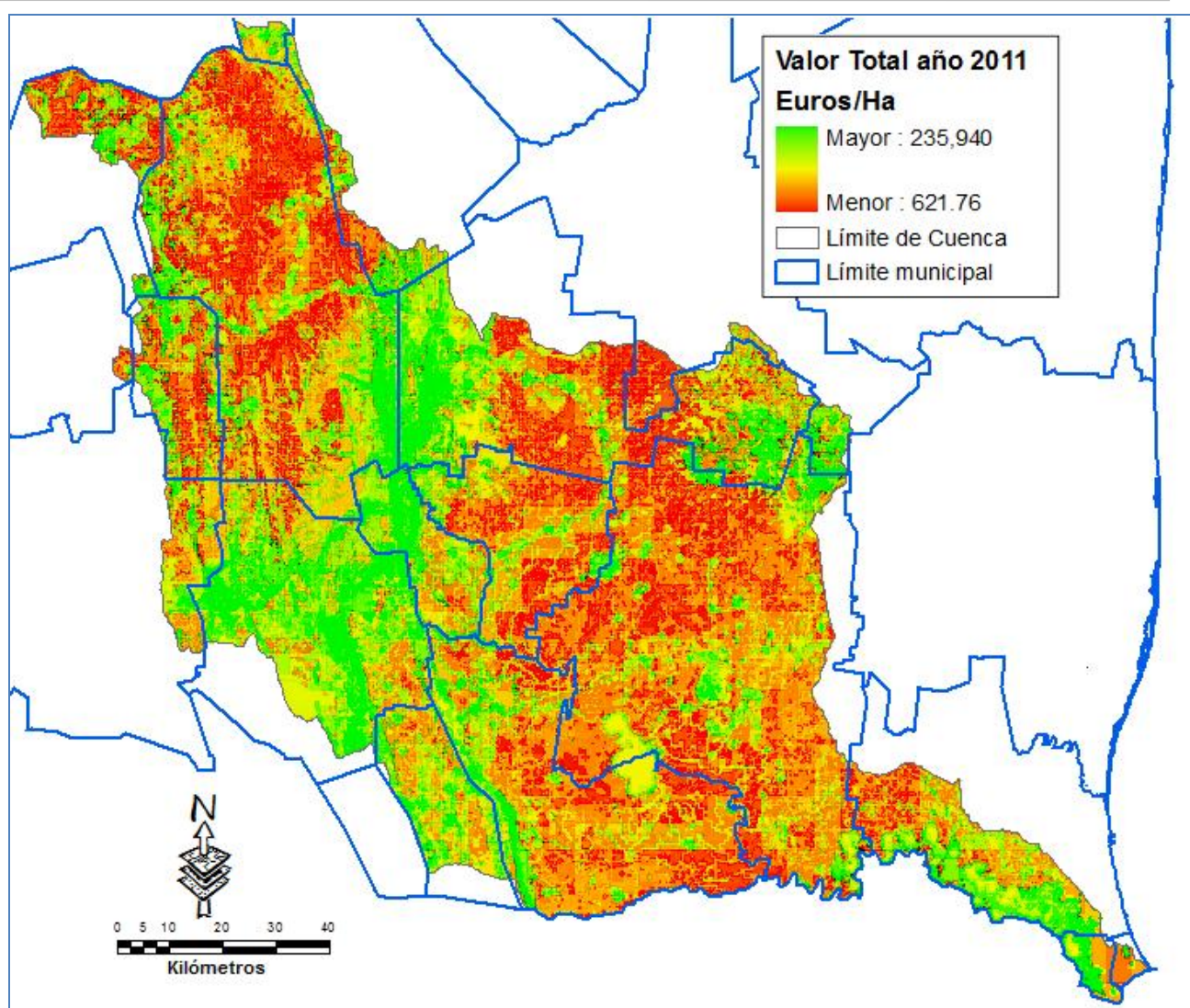


Figura IV.3-1. Valor socioeconómico mínimo de la cuenca Guayalejo-Tamesí en el año 2011, por su prestación de seis SSAA.

Como forma de estimar la porción del valor total que representa el calculado en este trabajo, se obtuvo la fracción del valor de la biósfera estimado por [Costanza *et al.* \(1997\)](#) correspondiente a la superficie de la cuenca. Este grupo de investigadores basó su cálculo en 17 SSAA estudiados en 16 biomas del mundo. Sus valores máximos y mínimos, fueron deflactados a 2011 y convertidos a euros, y posteriormente se multiplicaron por la fracción de la superficie que representa la cuenca, como se muestra en el Cuadro IV.3-2.

Cuadro IV.3-2. Valores máximo y mínimo de los SSAA en la cuenca, proporcionales por su superficie a la estimación de [Costanza, *et al.* \(1997\)](#), y deflactados a precios de 2011.

Valor	Total (M€)	Por hectárea (€)	Relación con el valor de la cuenca
Máximo	69,466.83	4,631.90	10.83 a 1
Mínimo	33,680.89	2,245.39	5.25 a 1

En comparativa, el valor de los SSAA evaluados en el área de estudio es entre cinco y once veces menor que el calculado por los autores mencionados; por ello, se consideró que el modelo de valuación con siete indicadores de SSAA representa entre una quinta y una décima parte del total de los prestados por la cuenca.

De acuerdo con los SSAA evaluados, los ecosistemas con mayor aportación son la SBC y la SAMS, ambos con un monto mayor a 600 mil euros para el año de análisis. La segunda obtuvo también los valores más altos por hectárea, lo que indica una gran variabilidad en su territorio, ya que tiene una diferencia entre el mínimo y máximo de más de 53 mil euros. Sucede algo similar con la AGR, que tiene el valor más bajo y el más alto por hectárea, así como el mayor rango entre ellos; debe su alto valor total a su gran distribución territorial y a que los pixeles de mayor aportación por el SSAA de purificación de agua se encuentran alrededor de las ciudades y tienen este LULC de características temporales. El desglose de estos valores puede observarse en el Cuadro IV.3-3.

Cuadro IV.3-3. Valor de la aportación socioeconómica de cada uno de los LULC por sus SSAA en la cuenca. Se resaltan los mayores en letra negrita y los menores en **anaranjada**; en *italicas* se señalan los de carácter temporal.

LULC	Valores en €/ Ha 2011				Total año 2011 (M €)
	Promedio	Mínimo	Máximo	Diferencia	
MAN	11,461.29	10,143.23	16,027.54	5,884.31	2.94
SAMS	9,644.63	7,913.03	20,830.28	12,917.25	307.25
TUL	8,818.49	6,762.97	128,002.26	121,239.29	127.40
SMSC	7,990.61	6,089.36	59,216.15	53,126.79	626.66
BP	6,763.95	5,340.97	10,756.44	5,415.47	203.17
BT	6,629.85	5,329.02	10,458.02	5,129.00	23.67
RIPA	6,555.35	2,097.16	10,284.38	8,187.22	2.12
AGUA	6,405.20	4,346.01	80,935.47	76,589.46	181.71
BMM	6,289.87	4,616.74	30,994.79	26,378.05	179.48
INU	6,065.12	4,554.37	9,893.70	5,339.33	3.88
SBC	5,658.32	3,929.98	20,299.01	16,369.03	631.39
URBA	5,565.38	2,184.74	9,075.20	6,890.46	86.32
AGTP	5,436.37	3,132.55	10,388.99	7,256.44	47.41
BEBPEvs	4,714.53	3,231.96	9,754.18	6,522.22	152.31
BPE	4,708.29	3,293.14	8,949.32	5,656.18	331.18
SBCvs	4,317.06	2,357.03	49,719.12	47,362.09	404.06
PZC	4,294.43	2,733.83	17,876.13	15,142.30	269.01
BE	4,271.05	2,653.27	28,854.30	26,201.03	346.96
AGTApzi	4,221.27	2,533.03	59,691.25	57,158.22	555.73
PALM	4,161.97	2,371.28	12,103.67	9,732.39	31.58
PZI	3,948.36	2,419.28	11,787.50	9,368.22	42.75
AGTA	3,858.46	2,276.45	44,111.71	41,835.26	488.12
MZQ1	3,682.95	2,411.56	28,539.27	26,127.71	27.96
AGR	3,565.94	1,395.63	235,940.08	234,544.45	573.59
MZQvs	3,297.69	1,663.73	24,677.13	23,013.40	138.89
DESN	3,246.01	1,360.27	8,963.13	7,602.86	119.89
SBEhzch	2,726.64	1,316.28	45,274.89	43,958.61	152.17
MSM	2,458.13	919.18	13,242.36	12,323.18	182.30
MDR	2,358.65	936.71	7,322.21	6,385.50	126.62
QUE	1,851.79	621.76	6,841.64	6,219.88	49.68

En el extremo inferior por su aportación total se ubican ecosistemas de menor superficie en la cuenca, especialmente relacionados a los humedales. De estos, destaca el manglar

por ser el de mayor valoración por hectárea y uno de los menores valores mínimos y de rango de diferencia.

Más importante aún es analizar los valores por hectárea, que son los reflejados en el mapa y que podrían dar motivos de confusión al momento de interpretar el valor de los ecosistemas y los usos del suelo. En este sentido, podría esperarse una aportación más importante de parte de la vegetación natural que del uso del terreno. Sin embargo, esto no sucede así, y no precisamente porque las áreas naturales tengan menores producción de SSAA, sino por dos factores: primero, porque casi un 50% de la cuenca se encuentra ocupado por ecosistemas artificiales, y aunque tengan los menores valores por hectárea (lo que significa una producción más baja de SSAA), en conjunto superan a la mayoría de las coberturas nativas; y segundo, porque el SSAA que otorga mayor valoración a los LULC es el de purificación de agua, que favorece a los sitios que reciben más carga de nutrientes, que se ubican alrededor de las manchas urbanas y en las partes bajas de las áreas agropecuarias (en general ocupados por AGR y AGTA).

Es necesario señalar que la escasa aportación de los ecosistemas más secos se debe, por un lado, a su escasa cobertura relativa; y por otro, a sus bajas aportaciones respecto a los montos superiores por unidad de superficie: los “fijos” (de almacén de carbono y valor hedónico del territorio) y los de mayor aportación por unidad de superficie (aporte y purificación de agua). Esto de ningún modo significa que sean menos valiosos; simplemente indica que hacen falta estudios más específicos que revelen su alto valor para la sociedad tamaulipeca, o para la sociedad que vive en esos ecosistemas.

En general, los valores más altos del modelo coinciden con las Zonas de Importancia para la Protección (**ZIP**), como se observa en la Figura IV.3-2. Sin embargo, respecto al referido grupo de ecosistemas desérticos, cabe señalar que se ubican principalmente en el Valle de Jaumave, que se encuentra reconocido por **CONABIO** como un **RTP** y **AICA** (Arriaga, *et al.*, 2000). Debe observarse que ese grupo de ecosistemas presenta altos valores socioeconómicos por sus SSAA relativos a la biodiversidad, en este caso su alta calidad de hábitat y su número importante de plantas medicinales. Por lo tanto, se vislumbra la necesidad de valorar además su aportación socioeconómica por la presencia de especies endémicas y de importancia para la conservación, como el grupo de las catáceas (Martínez y Jurado, 2005) o de las aves (Garza, H.A., 2013, *com. pers.*) por citar algunos; así como del valor de esos ecosistemas en cuestiones de etnobotánica y otros valores socio-culturales (Guerra, *En prep.*).

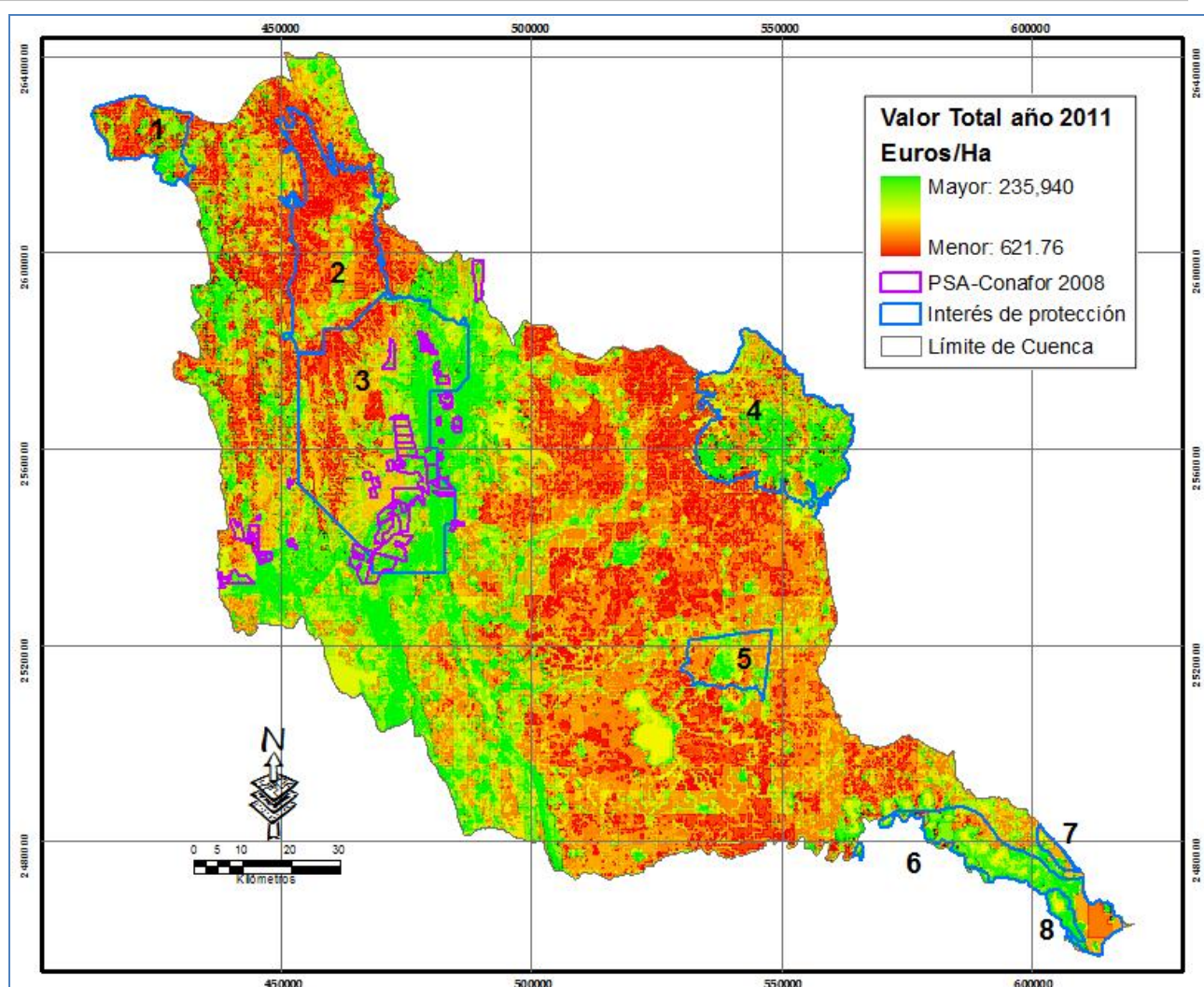


Figura IV.5-3. Valor socioeconómico por hectárea de los ecosistemas de la cuenca, los sitios de PSA (CONAFOR, 2008) y las AIP: 1 San Antonio- Peña Nevada (AICA y RTP No. 89-CONABIO); 2, Valle de Jaumave (AICA y RTP No. 86-CONABIO); 3, El Cielo (ANP estatal, RTP y AICA No. 90-CONABIO); 4, Sierra de Tamaulipas (ANP federal en espera de decreto, RTP y AICA No. 91-CONABIO); 5, Monumento Natural Cerro del Bernal de Horcasitas (ANP estatal); 6, Humedales de Altamira (AICA No. NE30-CONABIO <http://conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/NE-30.html>); 7, Laguna de San Andrés (RTP No. 95, CONABIO); 8, Parque urbano "Laguna Escondida" (ANP estatal).

El valor aportado por la superficie total de las ANPs es de poco más del 27% del estimado para la cuenca, a razón de casi 5,650 €/Ha en promedio. El Cuadro IV.3.-4 enlista los valores aportados por cada una de las zonas con algún interés para la protección. Como era de esperarse, el monto aportado es proporcional a su superficie, por lo que la ZIP de mayor territorio es el ANP El Cielo, que además es el sitio protegido bajo decreto estatal de mayor antigüedad. No obstante, esta ZIP presenta valores medios por hectárea, siendo la Laguna Escondida donde se concentran los pixeles de más alto valor. Por el contrario, como ya se discutió, el Valle de Jaumave contiene los de menor valor promedio por hectárea.

IUCN (2004) señala que uno de los primeros pasos para cumplir con los objetivos de la EEM, es analizar un análisis de los ecosistemas protegidos para encontrar los sitios donde crear nuevas ANPs que protejan especialmente los ecosistemas con mayor producción de SSAA. Un indicador significativo para conocer la efectividad de la cobertura de las ZIPs para protección de SSAA, es la superficie de éstas con más altos valores por sus SSAA.

Cuadro IV.3-4. Valores aportados por la porción de las zonas de interés para protección en el área de estudio.

No.	Zona de interés para protección	€/Ha promedio	Total anual (€)	M. Euros
1	San Antonio-Peña Nevada	4,438.51	94,050,440	94.05
2	Valle de Jaumave	4,014.06	197,059,253	197.06
3	El Cielo	6,531.36	766,325,812	766.33
4	Sierra de Tamaulipas	5,560.79	372,762,430	372.76
5	Cerro del Bernal de Horcasitas	4,864.68	79,185,605	79.19
6	Humedales de Altamira (Sistema Lagunario del Tamesí)	6,953.32	187,230,998	187.23
7	Laguna de San Andrés	6,864.66	11,799,107	11.80
8	Laguna Escondida	9,128.43	27,500,655	27.50
Total		5,647.65	1,735'914,300	1,735.91

Si bien el 23.5% de la cuenca presenta valores por hectárea de 5,500€ o más, 34% de esta superficie se ubica bajo algún esquema de protección legal (aún sin decreto oficial); esto significa un aporte anual de 512.85 millones de euros. Este bajo nivel relativo de superficie con algún interés en conservación, coincide con lo sugerido por Requena (2008) acerca de que las zonas actuales de importancia y especialmente las ya protegidas legalmente no son suficientes, en este caso sólo desde el punto de vista de su valor por los SSAA.

Si se busca el territorio cuyo valor supera 10 mil €/Ha, la superficie en la cuenca se reduce a 1.23%, de la que casi la mitad (48.6%) se encuentra dentro de las ZIPs, contribuyendo con 38.27 m€. La distribución espacial de este indicador se observa en la Figura IV.3-4.

Similar a la apreciación anterior, es importante resaltar que los predios elegidos para PSA por parte de CONAFOR para el año 2008 (Cortesía de la Gerencia de Servicios Ambientales del Bosque, a través de Valdez García, R., Subgerencia de Operaciones, 2009) son una forma efectiva de protección, ya que el 83% de su superficie aporta valores de cinco mil o más euros por hectárea, mientras que 6.8% aporta diez mil o más. En total, esos predios protegen sitios que contienen SSAA con valor conjunto de 161.36 millones de euros, en 25,818 hectáreas y a razón de 6,745 €/ha en promedio.

Este puede ser un indicador de eficiencia y efectividad de los PSA respecto a la forma actual de manejo de precios por estos servicios en Latinoamérica. Muñoz-Piña (et al., 2011) señalan que la estructura actual del funcionamiento de los PSA en Latinoamérica es insuficiente para incluir los diferentes costos de oportunidad de los bosques; esto porque se basan en pagos fijos por hectárea y pocas categorías para diferenciar los montos de cada pago. Incluyen criterios biofísicos simples, con otros de carácter social y económico, todos con el mismo peso para determinar el monto del PSA. Con este manejo, es complicado reconocer la eficiencia y efectividad de esos programas. Por ello, la valuación de los SSAA en los ecosistemas, basada en los LULC cartografiados a través de imágenes satelitales, como se realizó en el presente trabajo, puede ser un mejor indicador de eficiencia de los PSA, así como de los montos que deben pagarse en cada parte de los predios.

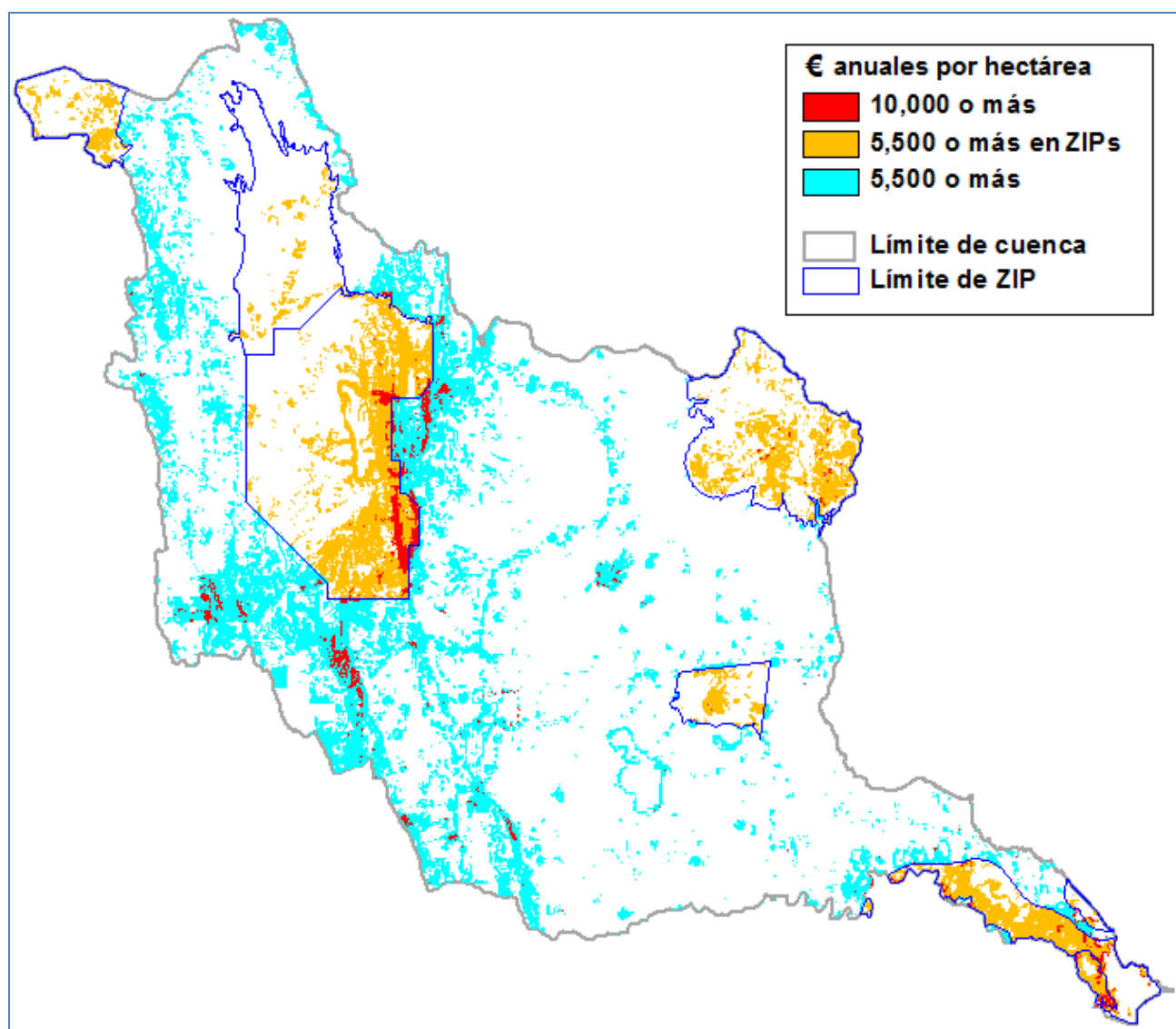


Figura IV.5-4. Sitios que aportan mayor valor por sus SSAA en la cuenca y las zonas de interés para la protección.

Para 2010, la superficie nacional apoyada aumentó en 8.9% (Graf, 2011), sin embargo, no fue posible acceder la información cartográfica correspondiente (en la conferencia del citado autor pueden observarse a *grosso modo* las áreas de pago). Es necesario aclarar que, a partir del año 2010, se paga por un conjunto de SSAA, y no de forma diferenciada como en 2008.

En cuanto al valor de los SSAA de acuerdo a los ecosistemas presentes en cada municipio, se observaron las tendencias de proporción directa entre valor total y superficie, así como la de relación inversa en superficie y valor promedio por hectárea, como se observa en el Cuadro IV.3-5. La excepción a esta última tendencia son los municipios de Ocampo y de Gómez Farías, con valores promedio que rondan los seis mil euros por hectárea; ambos municipios son parte de **El Cielo**, y Ocampo además ocupa el tercer sitio en cuanto a valor total. Los municipios con mayor aportación de SSAA por hectárea, en general son los que mayor parte de su territorio se encuentra ocupada por ecosistemas leñosos de selvas subhúmedas y bosques; mientras que, en situación contraria se encuentran aquellos que presentan matorrales o una menor proporción de vegetación natural.

Cuadro IV.3-5. Valores de la aportación de los SSAA a cada municipio de la cuenca.

Municipio	Valores en €/ Ha año				Total año 2011 (M €)
	Promedio	Mínimo	Máximo	Diferencia	
Ciudad Madero	10,318.76	2,184.74	106,833.26	104,648.52	10.98
Tampico	8,894.04	1,554.73	77,293.81	75,739.08	53.70
Nuevo Morelos	6,959.32	4,521.72	11,170.62	6,648.90	0.44
Ocampo	6,077.86	1,430.54	15,910.70	14,480.16	852.52
Gómez Farías	5,976.68	1,743.53	59,216.15	57,472.62	257.33
Aldama	5,733.50	1,853.16	8,579.67	6,726.51	0.43
Güémez	5,137.41	1,377.83	8,869.22	7,491.39	31.20
Antiguo Morelos	5,107.02	1,847.43	59,691.25	57,843.82	230.67
Altamira	4,988.76	763.46	128,002.26	127,238.80	340.27
Llera	4,830.41	621.76	13,772.90	13,151.14	813.68
Victoria	4,804.93	919.18	11,345.02	10,425.84	106.42
Tula	4,726.04	1,580.30	11,655.54	10,075.24	131.20
Casas	4,482.07	621.76	12,762.50	12,140.74	93.81
Palmillas	4,349.07	995.69	13,242.36	12,246.67	194.20
Miquihuana	4,213.74	962.85	10,756.44	9,793.59	141.21
Jaumave	4,089.83	621.76	28,854.30	28,232.54	1,071.09
El Mante	4,045.00	762.90	235,940.08	235,177.18	655.52
Xicoténcatl	3,768.09	621.76	13,865.77	13,244.01	313.19
González	3,757.66	621.76	44,111.71	43,489.95	1,111.58
Bustamante	3,703.80	1,566.19	10,235.31	8,669.12	6.78

En otro contexto, se compararon las aportaciones totales al bienestar de la sociedad de la cuenca por parte de los ecosistemas y por parte del gobierno. En esta relación dependiente del número de habitantes dentro de la cuenca, se obtuvieron valores promedio de 40, 520.2 €/habitante por concepto de SSAA (por habitante de la cuenca), contra 195.7 del presupuesto (por habitante del municipio entero), tomando en cuenta sólo aquellos municipios con más del 40% de su territorio dentro de la cuenca. En promedio, la aportación de los SSAA analizados es 250 veces mayor que la proveniente del presupuesto municipal. Los montos de cada uno de estos indicadores a nivel municipal se desglosan en el Cuadro IV.3-6.

Finalmente, es importante conocer el costo en que la sociedad incurre por la pérdida del valor de los SSAA analizados en una hectárea de ecosistema, tal y como se encuentran en el año de evaluación. Para ello, se calcula el **VPN**, que parte de la premisa que el monto aportado por cada hectárea de un LULC nativo (o naturalizado, como AGTP y algunos sitios de AGUA) cambia su valor a través del tiempo. Por lo cuál, se necesita conocer la tasa de cambio, los flujos de efectivo en el tiempo y el número de años de evaluación.

Cuadro IV.3-6. Aportación de los SSAA a los habitantes de cada municipio en la cuenca y su relación con el presupuesto municipal para el año 2011 publicado por [SecGen_Tam \(2010a, b, c\)](#).

Municipio	Aportación <i>per cápita</i> (€) 2011		Relación valor SSAA/Presupuesto	
	de los SSAA	del Presupuesto	<i>per cápita</i>	por hectárea
Aldama	*	129.60	*	550.61
Nuevo Morelos	*	311.48	*	190.01
Victoria	+	75.30	+	30.49
Miquihuana	682,181.35	345.83	1,972.60	366.12
Bustamante	678,318.89	239.85	2,828.15	263.19
Casas	665,304.81	294.37	2,260.11	989.49
Güémez	380,513.33	144.13	2,640.13	274.19
Palmillas	108,433.08	530.72	204.31	221.29
Tula	106,406.65	158.81	670.04	330.54
Ocampo	75,431.04	173.17	435.58	477.04
Jaumave	70,909.83	85.26	831.72	869.40
Llera	49,376.68	165.25	298.81	389.12
González	36,111.28	104.53	345.46	289.10
Gómez Farías	29,288.60	171.07	171.21	171.99
Antiguo Morelos	27,089.44	181.03	149.64	175.88
Xicoténcatl	13,697.83	125.40	109.23	110.11
El Mante	5,661.22	103.13	54.89	57.54
Altamira	4,121.24	156.11	26.40	25.14
Tampico	180.62	141.41	1.28	1.94
Ciudad Madero	55.69	137.29	0.41	1.78

* Aldama y Nuevo Morelos no tienen habitantes en la cuenca, mientras que + Ciudad Victoria sólo registra cinco (INEGI, 2010). Los municipios escritos en color **morado** tienen menos del 40% de su territorio dentro de la cuenca.

En este caso, se calcularon los flujos de efectivo, utilizando como año base el 2011 y su valor por hectárea de cada LULC, y como horizonte temporal se usó una base de 20 años. Para el factor de cambio, se usó la tasa social de descuento en México (del 12%), la cual expresa los costos de oportunidad que el gobierno invierte en los recursos, y que depende de la clasificación de riesgo establecida para el país ([SHCP, 2012](#)). Los flujos de efectivo quinquenales y el VPN de cada LULC se muestran en el Cuadro IV.3-7.

Aquí el VPN indica lo que sería necesario invertir actualmente (sólo en los siguientes 20 años) para compensar los SSAA de cada hectárea de ecosistema que pierda su capacidad de producción; esto siempre y cuando no se desarrollen actividades que impidan el repoblamiento natural del sitio afectado. Al ser un asunto de carácter público, es el gobierno quien debe absorber estos montos, por lo que necesita conseguirlos de forma adicional a los recursos que actualmente utiliza ([Cervini, 1995?](#)).

Este es un costo social que se obtiene por varias vías, pero que a fin de cuentas, es la sociedad quien debe asumirlo, ya sea dejando de percibir otros beneficios sociales (porque el gobierno debe ahorrar) o a través de un aumento de impuestos (en el caso de que el gobierno consiga, por ejemplo, un crédito externo).

Cuadro IV.3-7. Flujos de efectivo quinquenales y VPN del valor promedio por hectárea de cada LULC la cuenca, y la contribución por familia actual de cuatro miembros (según datos de INEGI, 2010)

LULC	Evaluación quinquenal, en €/Ha				VPN (€/Ha)	Impuesto por familia (€/Ha)
	2015	2020	2025	2031		
MAN	18,034.55	31,783.05	56,012.59	110,558.92	913,449.94	4.51
SAMS	15,176.02	26,745.33	47,134.41	93,034.97	768,665.17	3.80
TUL	13,876.07	24,454.37	43,096.96	85,065.76	702,822.68	3.47
SMSC	12,573.37	22,158.58	39,050.99	77,079.73	636,841.21	3.14
BP	10,643.21	18,756.97	33,056.19	65,247.07	539,078.44	2.66
BT	10,432.20	18,385.11	32,400.84	63,953.52	528,390.98	2.61
RIPA	10,314.97	18,178.50	32,036.72	63,234.81	522,452.98	2.58
AGUA	10,078.70	17,762.11	31,302.91	61,786.40	510,486.03	2.52
BMM	9,897.24	17,442.32	30,739.32	60,673.97	501,295.02	2.48
SBC	8,903.48	15,690.98	27,652.86	54,581.84	450,961.19	2.23
AGTP	8,554.23	15,075.47	26,568.13	52,440.77	433,271.45	2.14
BEBPEvs	7,418.41	13,073.77	23,040.44	45,477.75	375,742.16	1.86
BPE	7,408.59	13,056.47	23,009.96	45,417.59	375,245.10	1.85
SBCvs	6,792.98	11,971.56	21,097.98	41,643.67	344,064.59	1.70
BE	6,720.57	11,843.95	20,873.08	41,199.76	340,396.92	1.68
PALM	6,548.95	11,541.48	20,340.03	40,147.61	331,703.98	1.64
MZQ1	5,795.20	10,213.12	17,999.01	35,526.84	293,526.70	1.45
MZQvs	5,188.97	9,144.75	16,116.17	31,810.46	262,821.49	1.30
SBEhzch	4,290.42	7,561.18	13,325.38	26,301.94	217,309.50	1.07
MSM	3,867.92	6,816.60	12,013.18	23,711.88	195,910.15	0.97
MDR	3,711.39	6,540.73	11,527.01	22,752.27	187,981.73	0.93
PROMEDIOS	8,867.97	15,628.40	27,542.58	54,364.17	449,162.74	2.22

* Euros de 2011.

La última columna del cuadro anterior señala el monto que cada familia de la cuenca debe absorber por cada hectárea de LULC que pierda su producción de SSAA, ya sea en forma de más impuestos, de una disminución del presupuesto municipal o de una pérdida de los beneficios públicos con que actualmente cuenta. En caso de tratarse de MAN, SAMS o TUL, excede el salario mínimo diario de enero de 2012, que es de 3.5 €/diarios por trabajador (SAT, http://www.sat.gob.mx/sitio_internet/asistencia_contribuyente/informacion_frecuente/salarios_minimos/).

Otros montos analizados para la cuenca, pero que no formaron parte de este trabajo, son el de la Polinización, cuyo valor alcanza 6.3 M€/año y el de contribución del paisaje a la salud, con casi 6€/año (ambos con valores de 2011, estimados por Requena, En prep).

Finalmente, es necesario señalar que los montos aquí estimados sólo incluyeron algunos indicadores de los valores que pudieron manifestarse en términos monetarios. Para decisiones de ordenamiento, así como de uso y manejo territorial, deberán tenerse en cuenta otros SSAA y otros valores como los de existencia, así como externalidades producidas por los ecosistemas, especialmente en aquellas que se refieren a los valores culturales, espirituales y de identidad.

CAPÍTULO V

PROPUESTA DE ORDENAMIENTO Y DE ESTRATEGIAS, BASADAS EN EL VALOR SOCIOECONÓMICO DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES



La Autora, en el municipio de Jaumave.
Foto, cortesía de Antonio Guerra, 2013

“A la Cuenca Guayalejo-Tamesí y a mi Estado de Tamaulipas...”

V. 1.- Zonificación Territorial (propuesta de ordenamiento) para sitios con mayor producción de SSAA

La presente estrategia se enfoca a los sitios que mayor aportan a la sociedad por medio de sus SSAA, con el objeto de que puedan formar parte de nuevas ANPs o de la ampliación de las existentes. Este análisis es coherente con algunas de las recomendaciones de la IUCIN (2004) para cumplir con los objetivos de desarrollo del milenio, en cuanto a que nuevas ANPs deben diseñarse de forma que protejan eficazmente los SSAA. Para ello, se debe realizar un análisis de omisiones (*GAP Analysis*) de la cobertura de los ecosistemas protegida bajo algún esquema legal, e identificar áreas de oportunidad para la ubicación de esas nuevas ANPs, enfocadas a la mejora de los habitantes de la región.

Dentro de este contexto, en la cuenca se seleccionaron lugares clasificados dentro de las categorías A y B, de la jerarquización sugerida para integrar un Plan de Ordenación de los Recursos Naturales, de acuerdo con el Artículo 2f de la Ley 42/2007 (BOE, 2007), y adaptada al territorio de la cuenca Guayalejo-Tamesí, por Requena (2008) para poder insertarse en las políticas de Ordenamiento Ecológico propuestas por el INE-SEMARNAP (2000).

La zona de Protección Integral A, que equivale a la Política de Protección de INE-SEMARNAP (2000) cuenta con dos categorías:

Categoría A1. Con escasa o nula intervención humana. Se trata principalmente de zonas montañosas con vegetación selvática o bosques primarios, y pendientes medias a fuertes, que les dan un grado alto de fragilidad. Prestan el mayor número de SSAA, por lo que su valor socioeconómico en 2011 es igual o superior a 10,000 €/Ha.

Categoría A2. Son terrenos con vegetación natural conservada, pero que por su ubicación cuentan con bajo o nulo nivel de fragilidad natural. Son manchones mayores de mil hectáreas con valor de 5,500 a 10,000 €/Ha en el año 2011. Incluye sitios de alto valor paisajístico, como el Cerro del Bernal o la Sierra de Tamaulipas. Su aportación socioeconómica es elevada, de cinco a diez mil €/Ha en el año de evaluación.

El área de Protección Ecológica B, de zonas de regulación especial. Equivale a la Política de Conservación de INE-SEMARNAT, que en este trabajo se manejó en una categoría única:

Categoría integrada B. Son sitios bien conservados, que pueden ser utilizados para el ecoturismo, turismo ecológico, turismo de naturaleza (clasificados como B1 por Requena, 2008), como los ríos perennes, embalses, lagunas o presas. Algunos (clasificados como B2 por Requena, 2008) pueden presentar intervención humana, pero que no impide el mantenimiento de los procesos geo-ecológicos. La vegetación se encuentra en progresión de forma natural. Incluyen fragmentos de vegetación natural o poco intervenidos inscritos en una matriz

antropizada (que pueden incluir uso forestal); estos, aunados a los corredores formados por los lechos de las corrientes intermitentes posibilitan la conservación de la conectividad entre ecosistemas, especialmente en las zonas altamente antropizadas. Representan manchones menores de mil hectáreas con valor de 5,500 a 10,000 €/Ha en el año 2011.

La Figura V-1 muestra la propuesta de ordenamiento para estas dos políticas equivalentes en la legislación española y la mexicana, según los criterios descritos anteriormente.

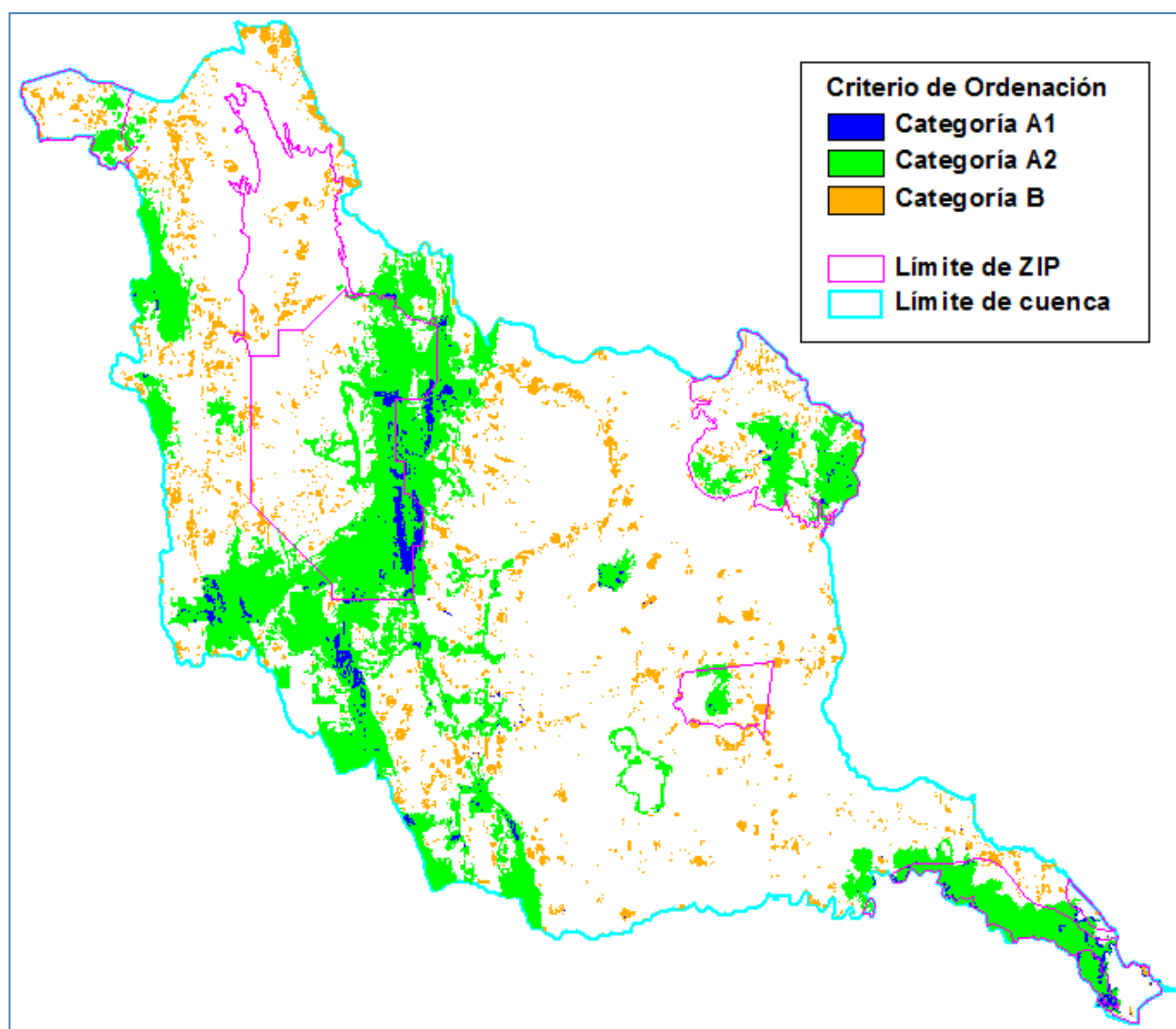


Figura V-1. Criterios de ordenación territorial en la cuenca, según su aportación a la sociedad de sus SSAA.

Las categorías de regionalización para el resto del territorio pueden consultarse en Requena (2008). Como era de esperarse en un territorio con una industria agrícola de gran extensión, en la mayor parte del mismo deberán aplicarse además políticas que fomenten la sostenibilidad de las actividades económicas y municipales ya establecidas.

A continuación, se describen algunas estrategias aplicables al área de estudio, ya sea que hayan sido planteadas por otros autores, o planteadas como parte de la presente investigación. En primera instancia, las de aplicación general, y posteriormente las específicas de acuerdo con los modelos analizados.

V.2. Mención y propuesta de algunas estrategias para la conservación

V.2.1. Instrumentación legal del Ordenamiento Ecológico de la cuenca

Aunque la ejecución de los estudios de Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET) en la cuenca se inició en 2004 (<http://cidiport.com.mx/index.php/proyectos>), al 2012 aún se encuentra en fase de proyecto (http://www.posei.uat.edu.mx/investigacion/Proyectos_Operacion.html). A nivel académico, Requena (2007) elaboró la primera fase del OET de acuerdo a los lineamientos del INE, a través de la caracterización y diagnóstico ecológico de la cuenca, y posteriormente una propuesta de ordenamiento de los recursos naturales Requena (2008).

El OET se necesita para obligar el uso y manejo sostenibles de los recursos en la cuenca alta, ya que así se cuenta con la garantía de la provisión adecuada de SSAA hacia las partes bajas. Además, debe estudiarse y plantearse de forma integral, pues de acuerdo con Porras (2003), puede darse el caso de que los problemas con la provisión de agua y el control de avenidas se atribuyan al manejo de la cuenca alta, cuando existe la posibilidad de que se deban a fallos en la infraestructura urbana; el autor cita que podría invertirse en reforestación, cuando el problema es de falta de modernización del sistema de desagüe; todo esto con los correspondientes costos económicos y sociales.

Es necesario que el OET oficial de la cuenca tome en cuenta el valor de los SSAA hacia la sociedad, e incluya en su instrumentación las áreas aquí sugeridas dentro de la política de Protección.

V.2.2. Manejo de los ecosistemas y ampliación de las ANP

De acuerdo con el artículo 30, Fracción XXII de la LGCC (SEMARNAT, 2012), entre las acciones a establecer por las autoridades para la adaptación al cambio climático, para favorecer la adaptación natural de la biodiversidad, se deberán crear nuevos sitios protegidos, tales como ANPs, corredores biológicos y zonas de protección ecológica. En esos sitios, deberá mantenerse e incrementarse la cobertura vegetal nativa.

Por otra parte, la IUCN (2004) recomienda que se deben “incorporar redes representativas de áreas protegidas dentro del manejo del territorio”. Estas deben estar ligadas a estrategias sociales y económicas, especialmente las que se relacionen con la disminución de la pobreza y la adaptación al cambio climático. Además, se debe asegurar que dichas áreas cubran con efectividad la conservación de la riqueza biológica y los SSAA que requieren los habitantes de la región.

Los proyectos de tipo ecoturístico deberán ser evaluados de acuerdo con el costo/beneficio de los SSAA que se vean afectados. Esto porque, según refiere Kiss (2004), muchos de ellos algunas veces modifican el hábitat natural (y su respectivo SSAA de calidad para la biodiversidad); da el ejemplo de que la observación constante de algunas especies puede perturbar su comportamiento. Refiere que la cacería de algunas especies es una buena opción para generar ingresos donde existen pocas expectativas para otros usos, debido a que el valor real de esta actividad proviene de la experiencia (que puede incluir foto-turismo), y no tanto por la piel o el consumo de carne, siempre y cuando cuente con un manejo adecuado. En la cuenca, esto puede

prosperar a través de las **UMAs**, y de algunos ranchos con vegetación secundaria, siempre y cuando se prevalezcan condiciones adecuadas de seguridad pública.

[Jackson, et al. \(2008\)](#) encontraron que las políticas para el cambio climático rara vez toman en cuenta factores biofísicos que lo provocan, y que pueden alterar las temperaturas con mayor fuerza que el secuestro de carbono. Entre otros, señalan la reflectividad, la evaporación y la rugosidad de la superficie. Para contrarrestar este efecto, sugieren que los proyectos de conservación del bosque incluyan el uso de plantas reflectivas y deciduas en reforestación, y el aumento de bosques urbanos; menciona que esto es con el fin de reducir el uso energético, aunque por otra parte, también aumenta el SSAA. Esto es más barato que “invertir millones de USD en algunos proyectos de mitigación que proveen pequeños beneficios climáticos, o peor, que son contraproducentes”.

[Ray, et al. \(2011\)](#) mencionan que los sistemas de silvopastoreo, de barbecho mejorado y cultivos agroforestales cuentan con la capacidad de secuestrar importantes cantidades de carbono, debido a los cultivos en crecimiento; o bien reducir emisiones debido a que se evita la apertura de zonas agrarias por medio de la quema del bosque. Una de las acciones que, según el Artículo 3, Fracción XII de la **LGCC**, deben implementar las autoridades para la adaptación al cambio climático, es precisamente “la producción bajo condiciones de prácticas de agricultura sustentable y prácticas sustentables” en los agrosistemas productivos, así como cultivos de temporales de ciclo corto.

En cuanto a las plantaciones forestales, [Oyarzún, et al. \(2005\)](#) señalan que la sustitución de las coberturas boscosas nativas con especies exóticas tiene como consecuencia la disminución del rendimiento hídrico en el sistema de la cuenca. Por lo cual, deberá fomentarse el cultivo de especies nativas, así como la obligatoriedad de su uso en reforestación y en espacios públicos. Complementaria con estas acciones, la [IUCN \(2004\)](#) destaca la necesidad del mantenimiento de flujos ambientales mínimos para mantenimiento de ecosistemas y sus beneficios, a través de evaluación hidrológica para planificar el abasto adecuado de los medios de subsistencia corriente abajo. [Mokondoko y Manson \(2012\)](#) señalan, por su cuenta, la importancia de conservación y restauración de corredores riparios para los SSAA hidrológicos.

Otra medida relativa a los sistemas agroforestales, pero ligada con el uso tradicional de los recursos florísticos, es la sugerida por [Bodeker \(2005\)](#). Este autor destaca el consenso de que el cultivo sustentable de plantas medicinales es la mejor forma de utilizar este recurso y, al mismo tiempo, crear empresas locales y ayudar a la conservación de especies en el medio natural porque disminuye la presión sobre las comunidades silvestres. Refiere otras bondades de esta medida, como el mantenimiento o expansión de los mercados, la mejora en la identificación y estudio de las especies, así como un mejor control de calidad de la producción y la aplicación de buenas prácticas agrícolas.

Para la cuenca, el cultivo de plantas nativas para este y otros usos deberá realizarse siempre en forma artesanal, llevado a cabo por ejidatarios y grupos locales (siempre apoyados por **ONGs** y por el Gobierno), que se encarguen de surtir directamente al comprador, y bajo convenios y compromisos de compra-venta específicos para las especies producidas. Además, según refiere [Bodeker \(2005\)](#) es imprescindible establecer

un sistema de certificación de la calidad de la producción de plantas de uso tradicional obtenidas bajo este esquema, similar a cómo se realiza actualmente con productos madereros.

V.2.3. Establecimiento de sistemas de monitoreo para SSAA.

Muñoz-Piña, *et al.* (2011) refieren que el valor ambiental de algunas medidas de conservación de SSAA “sólo se conoce en el largo plazo”, ya que generalmente no se encuentran bien definidos y por lo tanto, su medición presenta cierta dificultad. Mencionan que, en el caso de los SSAA hidrológicos, ni México ni Costa Rica monitorean los resultados de sus programas; aunque algunos centros de investigación lleven a cabo algunos estudios de este tipo.

Para el caso del SSAA de captura y almacén de carbono, actualmente en Tamaulipas se elaboran los Inventarios de Gases de efecto invernadero, de acuerdo con los lineamientos del IPCC (2006) pero se encuentra en proceso la inclusión del sector de cobertura y uso del suelo (Calderón, H. Departamento de Cambio Climático del Gobierno de Tamaulipas, com. pers., 2013). Esto sería una forma de monitoreo para la captura y almacén de carbono.

Del resto de los SSAA, no se cuenta con mayor información, por lo que una estrategia sumamente importante es constituir sistemas de monitoreo de los usos y cambios de uso del suelo. Estos deben estar específicamente diseñados para evaluar la calidad y cantidad de los SSAA de los ecosistemas, así como los efectos e impacto socioeconómico de los programas y acciones de conservación.

De modo particular, y aunque el Ordenamiento deberá incluir estrategias similares, es necesario evitar en lo posible la eliminación de la cobertura vegetal nativa, especialmente en las márgenes de los ríos y arroyos y los sitios relicto de vegetación natural; tratando de mantener los corredores biológicos.

Aunque existen convenios de CONABIO con la NASA para detección temprana de incendios forestales a través de imágenes MODIS, CICC (2009) refiere que el costo de estos asciende a 1,280 €/ha (a valor 2011), solamente por concepto de las actividades de combate y el valor del recurso perdido. Si OEIDRUS (2011) reportó casi 4,600 hectáreas siniestradas en sitios de la cuenca, se perdieron recursos cercanos a los seis millones de euros en ese año, teniendo en cuenta que estos organismos sólo reportan incendios en zonas forestales. A esto debe sumarse el valor de los SSAA perdidos, la biodiversidad, los impactos sobre la producción agropecuaria (inmediata y futura), la afectación a las comunidades afectadas (incluyendo su reubicación), así como los costos ocasionados por lesiones y decesos humanos.

Por ello, otra estrategia necesaria de conservación de los hábitats es la instalación en el estado de una estación de detección temprana de incendios de NASA-CONABIO, coordinada con el sistema de Protección Civil. Esto con la finalidad de que se aprovechen efectiva y eficazmente las ventajas de la detección temprana en el combate a los incendios *in situ*. Además, se debe establecer una red adecuada de monitoreo y seguimiento de este tipo de siniestros, de forma que se estudien las afectaciones reales a los hábitats, su calidad y su biodiversidad a través del tiempo.

No es necesario que dichos sistemas sean establecidos o manejados por medio de inversiones públicas. Es de mayor conveniencia que, dependiendo del tipo de SSAA participe la iniciativa privada, las **ONGs**, los centros de investigación y la sociedad en general.

V.2.4. Acerca de los PSA ya establecidos.

La idea general de los esquemas actuales de **PSA** hidrológicos, es que los usuarios cuenca abajo paguen las mejoras en el abastecimiento de SSAA por los propietarios de los terrenos cuenca arriba, donde se generan dichos servicios. Sin embargo, debido a la carencia de modelos y valoraciones con buen nivel de confiabilidad, los esquemas de **PSA** suelen ser arbitrarios y subjetivos (Porrás, 2003).

Por ello, algunos de los esquemas que se proponen son los impuestos voluntarios para generar fondos que ayudan a mantener los SSAA, pero basados en modelos de valoración como el producto de este trabajo. En Costa Rica, se entregan PAS a los propietarios de terrenos en áreas clave de las cuencas (Kiss, 2004) de forma similar que en México. Sin embargo, los PAS en el país provienen de **CONAFOR**, mientras que en Costa Rica, Kiss (2004) refiere que los fondos provienen de los mencionados impuestos aportados por empresas hidroeléctricas. Otra propuesta para fondeo de los PAS hidrológicos es que se recaude mediante impuestos al recibo de agua potable o mediante impuestos municipales, y se lleve a un “fondo verde” para este objetivo (Monroy, *et al.*, 2011). Precisamente, la LGCC, en su Artículo 30, Fracción XIII (SEMARNAT, 2012) señala que una de las acciones de adaptación al cambio climático es precisamente es que el cobro de derechos y tarifas por usos de agua “incorporen el pago por los servicios ambientales hidrológicos que proporcionan los ecosistemas a fin de destinarlo a la conservación de los mismos”.

Sin embargo, Del Saz, *et al.* (2012) encontraron que gran parte de sus entrevistados no tenían disposición a pagar más impuestos; gran parte debido a que pensaban que la autoridad debería encargarse de las cuestiones de la provisión de este recurso público (en su caso, mejorar la calidad del agua de espacio natural público). Por su parte, Sánchez, *et al.* (2008) opinan que **CONAGUA** debe revisar a detalle los derechos de agua que han sido asignados a los distritos de riego en la cuenca y actualizar su conformación; señalan que dicho organismo debe mejorar la infraestructura de los ámbitos rural y urbano para evitar fugas, disminuir los volúmenes de uso y aumentar los de agua reciclada para todos los usos posibles.

A este respecto, **CONAGUA** (2011b) señala que los costos base de las tarifas actuales varían de acuerdo con varios factores, pero respecto a los SSAA sólo hacen referencia a la “disponibilidad del recurso”. Menciona también el tratamiento de aguas residuales, pero tampoco toman en cuenta el valor de los ecosistemas para este servicio. Por ello es importante que se utilice el modelo empleado en esta investigación como una base para incluir a los ecosistemas en la contabilidad del capital, como una parte imprescindible de la infraestructura de producción y purificación, así como del control de avenidas.

Algunos estudios llevados a cabo en Europa, como el de Flores *et al.* (2008) no encontraron relación de los ingresos anuales de las personas entrevistadas (habitantes del centro de España) con su **WTP** para entrar al sitio estudiado, pero en la cuenca posiblemente sea directamente proporcional con el nivel de ingresos de la población. Por ello, una política tarifaria para protección y cuidado de las áreas naturales en esta zona deberá ser del tipo de “costo de recuperación” (cantidades simbólicas), sólo por adulto o familia, con exenciones para niños, personas discapacitadas, adultos mayores, investigadores, etc.; así como tarifas reducidas para grupos, profesores y estudiantes. Otra forma que sugieren estos mismos autores es la de aplicar una cuota única por vehículo, de acuerdo a las capacidades del ANP.

Al implementar este tipo de estrategias, además se deben tomar en cuenta los argumentos de Freeman (2003, citado por Hawkins, 2003), en cuanto que algunas personas consideran que no deben pagar por algo a lo que tienen derecho, como es el uso libre del territorio público. A este respecto, Grêt-Regamey *et al.* (2007), encontraron que en su muestra casi el 80% manifestaron preferencia por las vistas hacia paisajes sin degradación, pero el 44% no estaban dispuestos a pagar nada extra por respaldar su decisión.

Además, como suele suceder con los habitantes de países en vías de desarrollo, el conocimiento sobre SSAA es escaso o nulo, por lo que (de acuerdo con Hoevenagel 1994, citado por Hawkins, 2003) difícilmente podrán otorgarle un valor monetario; en la cuenca, la población suele hacer caso omiso de su responsabilidad de cuidar sus recursos naturales, pues al no estar familiarizados con los SSAA que les otorgan ni siquiera cuentan con una cultura de cuidado del espacio público, lo cual se manifestó a través de la encuesta al mencionar y calificar los sitios considerados como “degradados”.

Por lo tanto, una estrategia educativa deberá ser implementada a la par que la de tarifa simbólica para el mantenimiento de los sitios paisajísticos de mayor calidad; esto con el objetivo de que los visitantes conozcan y valoren los diferentes SSAA del lugar, evitando que disminuya su calidad ecosistémica y que, de acuerdo con Grêt-Regamey *et al.* (2007), se vean en la necesidad de buscar otro lugar que les ofrezca un paisaje de mejor “calidad” si ésta disminuye en el sitio.

V.2.5. Investigación aplicada, actualizada y específica para el Estado.

Durante el transcurso de la presente investigación fue posible constatar la falta de información específica para Tamaulipas, especialmente respecto a los aspectos biofísicos del medio natural. Los aspectos socio-culturales básicos se encuentran en un buen nivel de calidad y accesibilidad, ya que son recopilados y publicados por el INEGI. Sin embargo, aspectos como la cartografía de factores abióticos es limitada y se encuentra en escalas con poco detalle; la cartografía de vegetación y uso del suelo, aunque se actualiza a través de las series de INEGI y de los INF de CONAFOR, al menos en el área de estudio arrastra varios errores de identificación que no han sido cambiados desde las primeras ediciones que datan de la década de los 70's.

En aspectos específicos de SSAA, se tiene que, a pesar de que se encuentra en desarrollo el Inventario Estatal de Gases de Efecto Invernadero (**IEGEI**) en el rubro de cobertura del suelo, sólo se han investigado las capacidades de almacén de la SBC, BE y BEBPE en El Cielo ([Rodríguez, 2007](#)). En el transcurso de este trabajo no se recopilaban datos específicos de otros ecosistemas de Tamaulipas, por lo que es necesario realizar estudios de dichas capacidades en las selvas y bosques nativos, al tiempo que se conforman grupos de investigación en la línea de cambio climático y asuntos relacionados a este fenómeno.

Por estos motivos, se considera que es apremiante que las Universidades y centros de investigación en el Estado incluyan planes de estudio y líneas de investigación enfocadas al conocimiento de los recursos naturales como tal. Así como a la evaluación de los SSAA producidos por los ecosistemas y su aportación socioeconómica que permita diseñar mejores propuestas de conservación.

Es altamente recomendable dar prioridad a los SSAA relacionados en primera instancia con las cuestiones de cambio climático, como son la captura y almacén de carbono y la producción de agua y regulación del ciclo hidrológico. Esto porque ya se tiene avanzada la normalización del primero, a través de los **IEGEI**; por parte de los SSAA hidrológicos, existe un buen nivel de información estadística en la **CONAGUA**, en el Servicio Meteorológico Nacional y organismos afines.

Con relación a la protección de hábitats y su biodiversidad, es preciso que se formen grupos de investigadores dedicados a la bioprospección pertenecientes a centros públicos de investigación, coordinados con **ONGs**. Es la forma de asegurar que los recursos genéticos de la biodiversidad nativa pertenezcan legalmente a la sociedad tamaulipeca, y cualquier beneficio obtenido repercuta en el estado.

Lo anterior porque actualmente no es posible controlar la extracción ilegal de especies, lo que las expone a que empresas de otros países exploten los recursos mexicanos. Por citar dos ejemplos relevantes de esta situación, se tiene primero la tradicional Flor de Nochebuena (de Pascua, *Euphorbia pulcherrima*), de origen azteca y cuya patente pertenece a Paul Ecke, ciudadano de **EEUU** (US PP2926 P, <http://www.google.com/patents/USPP2926>). Por otra parte, el cacto *Obregonia denegrii* endémico del Valle de Jaumave y con categoría de especie amenazada (NOM059-SEMARNAT-2010, de [SEMARNAT, 2010](#)), se comercializa en varias partes del mundo sin que la sociedad tamaulipeca obtenga beneficio alguno de este comercio; en este caso, ya no cuenta con patente, debido a que en la actualidad no es posible obtenerlas para los organismos ni sus genes (González Romo, C., 2013, com. pers.)

A este respecto, los grupos de investigadores locales deben enfocar esfuerzos en actividades de “bioprospección” de los ecosistemas tamaulipecos. Esto podría ser una de las formas más adecuadas de proteger los recursos genéticos, pues de acuerdo con [Kiss \(2008\)](#), es la información genética la que se utiliza para generar ingresos, y no los organismos de la especie en cuestión. El inconveniente es que no suele ser atractiva para los grandes grupos comerciales con capacidad para pagar por conservar terrenos a cambio de la obtención de su información genética. Por ello, es recomendable que sean

los centros públicos de investigación coordinados con **ONGs** los que se encarguen de estudiar y salvaguardar la información del germoplasma en el estado.

V.2.1.6. Sensibilización ambiental y Participación Ciudadana

La ciencia que no se comparte y que no sirve para educar, no puede ser ciencia. Por más esfuerzos que la autoridad o los investigadores lleven a cabo para conservar y proteger los recursos naturales, los programas que implanten no serán efectivos si no se fomenta la participación activa de la sociedad, desde el inicio de la planificación del territorio. Y para que esa sociedad esté dispuesta a participar, necesita conocer y sensibilizarse acerca de la importancia del manejo y uso adecuados de sus recursos; así como de su derecho a –y su necesidad de– participar en la planeación de su tierra.

Debe tenerse en cuenta que la mayoría de la población sabe que los SSAA son de uso público, pero cree que no debe pagar nada por ellos, ya que el gobierno debe encargarse de afrontar los gastos de su producción, mantenimiento y provisión. Por ejemplo, [Del Saz, et al. \(2012\)](#) encontró que la población de su área de estudio piensa que el gobierno debe asumir los gastos provocados por la mejora de calidad de agua en un espacio público.

Por lo cual, las estrategias dictaminadas por los especialistas de ordenamiento deben ser dadas a conocer para que sean evaluadas por la mayor cantidad de interesados posible. Para ello, se sugiere el uso de las redes sociales y otros instrumentos de redes como complemento indispensable de planificación, participación y sensibilización de la sociedad tamaulipeca, en diferentes tópicos de uso y manejo de recursos naturales. De esta forma, se logrará una mayor permeabilidad especialmente entre los jóvenes, quienes son los más interesados en evolucionar las formas de gobernabilidad de su territorio. [Del Saz, et al. \(2012\)](#) encontraron una relación directa de los individuos entre la disposición a pagar por conservar un espacio natural y el conocimiento que tienen de la misma, así como de cuestiones ambientales.

Algunos países como Australia, hacen accesible a sus ciudadanos los asuntos relativos a la captura y almacén de carbono respecto al cambio climático, a través de su *web* “CleanEnergyFuture” (<http://www.cleanenergyfuture.gov.au>). En dicho sitio, es posible para el visitante encontrar desde cuestiones básicas acerca del tópico hasta cálculo de las ayudas a los ciudadanos, para hacer frente a este fenómeno a través de rebajas en impuestos y otros medios. En específico para el SSAA, cuentan con el acceso a diferentes recursos de un proyecto para mejorar el almacenaje de carbono y proteger la biodiversidad. Entre otros objetivos, buscan expandir los hábitats nativos en las propiedades privadas, reconectar remanentes de vegetación local para creación de corredores biológicos y la protección de vegetación altamente valiosa.

En cuanto a los recursos acuáticos, la [CONAGUA \(2011b\)](#) reporta que, debido al crecimiento poblacional en el país, el consumo y desecho del recurso hídrico han aumentado considerablemente; no obstante que se ha logrado alcanzar altas coberturas del servicio de agua potable en los hogares, “un volumen sustancial de aguas residuales es vertido sin previo tratamiento contaminando el suelo y las aguas superficiales, tanto en zonas urbanas como rurales, creando un riesgo para la salud humana y el medio

ambiente.” Esto hace necesario que se implanten no sólo sistemas de tratamiento, sino que se inviertan esfuerzos considerables en que la población tome conciencia y no sólo ahorre toda el agua posible, sino que, en la medida de sus posibilidades, la recicle, no la contamine con aceites ni sustancias tóxicas, no deje basura en sitios públicos y que almacene adecuadamente y use toda el agua de lluvia que le sea posible.

En otro contexto, las personas alrededor del mundo están reconsiderando el uso de prácticas tradicionales en su vida diaria, y de acuerdo con [Balick y O’Brien \(2004\)](#), quienes las llevan a cabo han obtenido resultados exitosos. En su caso se refieren al uso de plantas medicinales, pero esto mismo sucede con métodos de construcción artesanales, uso de recursos naturales autóctonos, e incluso en decoración y vestimenta. Sin embargo, para evitar que se presionen los ecosistemas, son necesarias acciones por la parte productora y por la parte consumidora.

Con respecto a la producción artesanal de productos locales, [Bodeker \(2005\)](#) señala que debe asegurarse una participación más equitativa de los productores rurales (en su caso, de plantas medicinales). Para lograrlo, recomienda que **ONGs** organicen grupos pequeños de productores (o recolectores), para ser capacitados en métodos sostenibles, agrotécnicas, limpieza, control de calidad, contabilidad y organización y manejo de sus datos.

Algunos campesinos de la cuenca se encuentran organizados en grupos pequeños para diferentes tipos de recolección o producción extensiva y/o artesanal de recursos autóctonos, por ejemplo: plantas comestibles, nogal (producción de nuez o uso medicinal) algunas palmas, orégano (condimento y medicinal), lechuguilla para fibras, producción de muebles de madera, pasto o palma, miel y cera de abeja, etc. En algunos casos (por ejemplo, los productores de orégano y de nogal), las empresas ha dado buen resultado; pero en el mercado de plantas medicinales, no se ha progresado debido a que, en general, su producción es adquirida por intermediarios que la venden a los grandes mercados de la Ciudad de México y otro poco a Monterrey ([González Romo, C., 2013, com. Pers.](#)).

Por lo tanto, se vislumbra la necesidad de aumentar los esfuerzos dirigidos a la organización de los campesinos como productores sustentables artesanales y, al mismo tiempo, comercializadores de su producción; esto, buscando los esquemas internacionales de comercio justo. Para esto, una buena práctica es seguir las recomendaciones de [Bodeker \(2005\)](#), especialmente respecto a la intervención de **ONGs** en el papel de capacitación y apoyo en gestión financiera; esto para lograr una buena dinámica de confianza y transparencia que beneficie a los campesinos, y con ello a los hábitats y la biodiversidad de la cuenca (como sugieren [Balick y O’Brien, 2004](#)).

[Balick y O’Brien \(2004\)](#) destacan la necesidad de “formalizar” la capacitación de los productores (que también recomienda [Bodeker, 2005](#)), a través de programas de formación como “etnobotánicos”. Con ello, se busca que el trabajo de investigación y capacitación continúe en las comunidades, aunque los programas finalicen. En su experiencia en Belice, relatan que se ha dado capacitación internacional a los científicos locales, mientras que los etnobotánicos y los “curanderos” se capacitaron in situ sobre colección de especies a granel y para el herbario; con ello, se logró que la generación de

conocimiento permanezca en el país, y se utiliza en nuevas iniciativas, tanto locales como internacionales.

En el transcurso de esta investigación, se detectó la apremiante necesidad de formar no sólo a los técnicos y a los productores actuales (como mencionan [Balick y O'Brien, 2004](#)), sino a jóvenes de las localidades rurales del estado como etnobiólogos; esto porque algunos expresaron su interés y agrado por los recursos naturales de su tierra, pero en general sólo les es posible realizar sus estudios básicos, debido a sus condiciones de pobreza. Por ello, es sumamente importante que las instituciones de investigación apoyen la formación como investigadores, de jóvenes y adolescentes originarios de las localidades rurales. ONGs pueden encargarse de su manutención y hospedaje a través de becas, para estudios desde el bachillerato en ciencias biológicas hasta la culminación de su grado universitario. Esto, en coordinación con los centros de investigación, para la selección, reclutamiento y seguimiento de los becarios.

Con enfoque a los mercados de productos locales, los mayores esfuerzos deben enfocarse a la realización de campañas informativas y de educación socio-cultural-ambiental. Con ello, deberá buscarse que la sociedad opte por consumir productos locales con la certificación de calidad sugerida por [Bodeker \(2005\)](#), y provenientes de cosechas sustentables, a precios justos.

Es urgente que la sociedad tamaulipeca conozca de forma objetiva y comprensible, y en tiempo y espacio: los recursos naturales que posee, los SSAA que los ecosistemas ponen a su disposición y su valor socioeconómico, los derechos y obligaciones que tienen sobre ellos, así como las opciones para su uso/manejo responsables, su gestión y su protección. Esfuerzos de educación ambiental a todos los niveles, con cobertura televisiva y a través de redes sociales, y con la participación del Gobierno, las ONGs y las empresas privadas deben enfocarse a este rubro.

Dentro de este contexto, es sumamente apremiante desarrollar actividades enfocadas a la preservación de una de las tradiciones tamaulipecas que está en riesgo de extinguirse: el uso de recursos naturales locales (especialmente las plantas) con uso medicinal. Durante algunas entrevistas personales con investigadores etnobotánicos, con usuarios rurales y con algunos “curanderos” de la región, se identificó el problema de que estos son muy mayores y no han heredado sus conocimientos a sus descendientes. [Heinrich \(2003\)](#) se pregunta la forma en que esos conocimientos “sean defendidos ante cualquier forma de abuso” pues escapa al conocimiento de la comunidad científica, ya que está restringido a personas ancianas que apenas saben leer.

Con estos antecedentes, se propone la formación de un acervo documental, basado en un formato de video, donde los *curanderos* muestren sus conocimientos tradicionales a científicos locales, para que se encarguen de estudiarlos, documentarlos y protegerlos legalmente. El acervo deberá incluir, entre otros aspectos: los datos del *curandero*; las técnicas de identificación, recolección y almacenaje de especies; la forma de uso y datos importantes del recurso; la preparación de los “remedios”; y deberá irse enriqueciendo con los estudios que surjan del proyecto, los realizados con anterioridad, así como con la documentación de su protección legal y de los usos que de él se deriven. [Balick y O'Brien \(2004\)](#) coinciden con esto, respecto al beneficio de la grabación en video de tales

conocimientos; señalan que, aunque es desafortunado que deba hacerse de esta forma, “puede ser uno de los pocos legados tangibles” dejados por personas que adquirieron de forma oral esos conocimientos tradicionales.

Para llevar a cabo esta tarea, es imprescindible la participación financiera de empresas privadas (no necesitan ser locales, pero sí demostrar su compromiso social-ambiental), la coordinación de centros públicos y privados de investigación con los ejidatarios y los poseedores del conocimiento (curanderos). Así como la intervención de investigadores, técnicos y estudiantes voluntarios (desde biólogos, sociólogos, etnobotánicos, médicos hasta abogados, economistas, contadores, comunicólogos y expertos en mercadotecnia), dedicados a la región tamaulipeca. Todo ello para hacer más transparente y expedita la ejecución del proyecto y el uso/manejo del acervo.

Una importante idea es que la empresa local de autotransporte público (Transpaís, originaria de Ciudad Mante) diseñe rutas de “curación tradicional” para visitar en su propio “consultorio” a las “curanderas-parteras” certificadas por el IMSS. **ONGs** y ayuntamientos pueden invertir en la remodelación (con tendencia tradicional) de los sitios a visitar, para que los turistas dispongan de diferentes opciones tradicionales mientras esperan su turno de visita. Empresas de difusión científica en el país como México Desconocido™, NatGeo™, History Channel™, BBC™, Google™ y las locales TV-UAT y TV-UNAM pueden participar con la grabación, edición, producción y emisión de los documentales que juzguen más carismáticos e interesantes para difundir.

Es posible que surjan opiniones acerca de que las empresas participantes lucren con este recurso tamaulipeco. Sin embargo, es importante analizar que, si no se realiza de esta forma, todo este conocimiento se perderá en el corto plazo; además, se tiene el riesgo de que alguna empresa privada internacional se apropie y lucre indebidamente con éste.

CAPÍTULO VI CONCLUSIONES



Flores en la cuenca Guayalejo Tamesí, desde el nivel del mar hasta 3,450 metros de altitud

Amamos lo que conocemos. A estas alturas de la tecnología, ya no es cuestión de creer, sino de conocer... y así podremos amar intensamente.

La Autora

VI.1 Conclusiones generales

La Cuenca Guayalejo-Tamesí presenta una alta riqueza biofísica que le permite sustentar las actividades económicas que le caracterizan, como son la industria petroquímica, una variada gama de cultivos, así como extensas áreas dedicadas a la ganadería extensiva, pero con limitado uso forestal actual. A pesar de este uso intensivo de su territorio, la calidad de sus recursos naturales es sensiblemente alta, debido a que se encuentran zonas con alto grado de conservación, principalmente en los sistemas montañosos. Otros factores ecogeográficos presentes en esos sitios, además de su bajo disturbio por actividades antropogénicas, permiten que sean los principales aportadores de SSAA para la sociedad de esta región del país.

La transformación a valores monetarios de los SSAA evaluados hizo posible su comparación y sobreposición espacial. De esta forma se obtuvo el valor total del área de estudio, así como sus indicadores por unidad de superficie y su contribución por cada habitante de su territorio. Además, posibilita su comparación con los SSAA de otros sitios y de diferentes fechas.

Los ecosistemas más destacados por su aportación de SSAA son SMSC, SBC, SAMS, BMM, especialmente cuando se encuentran asociados a las montañas; además de los humedales y manglares. En total, aportan a los municipios donde se ubican, valores mínimos equivalentes a 250 veces su presupuesto del año 2011, en promedio; esto a razón de 5,200€ por hectárea y un aporte a cada miembro de la sociedad de 7,900€. Es así que, por cada hectárea de la cuenca que se afecte al grado de perder su capacidad de producción de SSAA, a la sociedad le habrá costado 5,200€ en el año 2011. Además, tomando en cuenta que se llevará cierto tiempo su restablecimiento, se deberán pagar 450 mil € sólo por los primeros 20 años y sólo por los SSAA analizados, siempre y cuando no se detenga su repoblamiento natural. Al tratarse de un costo social, cada familia deberá asumir un gasto extra de 2.2€/ha en el año 2011, pero si la hectárea en cuestión es de selvas altas, manglar o tular, el costo supera un día de salario mínimo (por familia y por hectárea afectada).

Los espacios naturales de la cuenca que se encuentran protegidos bajo una figura legal no son suficientes para limitar el desarrollo de actividades antropogénicas que puedan dañar los ecosistemas, y por ende, disminuir la provisión de sus SSAA. Por lo tanto, es necesario que se reconsideren los límites de las existentes, o se decreten nuevas ANPs, tomando como guía los resultados de este estudio, en cuanto a las zonas con categoría A, de Protección Integral. En el caso particular del AICA del Valle de Jaumave, se sugiere particularizar la evaluación socioeconómica a los SSAA que dan valor a zonas desérticas, ya que resultan muy bajos en los principales aportadores estudiados en este trabajo: el valor hedónico del territorio, el almacén de carbono y la producción y purificación de agua.

No obstante las limitaciones de los modelos que dan origen a la propuesta de ordenamiento, es necesario se apliquen las políticas sugeridas, porque las altas tasas de desaparición y fragmentación de los hábitat, aunadas a las actividades humanas altamente intensivas, se convierten en una amenaza a la funcionalidad del ecosistema que resultará más difícil de controlar con el paso del tiempo.

A continuación, se enumeran las conclusiones particulares de la presente investigación.

VI.2. Del material de trabajo y la metodología

- La información digital de factores ecogeográficos disponibles en internet (especialmente en sitios de la **NASA**) resultó imprescindible para el desarrollo de esta investigación, por su facilidad de acceso, su resolución temporal, sus formatos listos para usarse y proyectarse. La única desventaja es que, al ser de cobertura mundial, en general las escalas no son tan finas, por lo que los archivos deben ser ajustados al área de estudio.
- La cartografía digital disponible para la cuenca la que se encuentra actualizada es escasa, carece de un sistema ágil de acceso y descarga a través de internet, y aunque la escala es más fina (1:250,000), con excepción de las capas de litología, edafología y topoformas, el resto fue empleado sólo como referencia. En el caso particular de la capa de uso de suelo y vegetación, que se ha ido actualizando sin cambio de escala, pues sólo fueron usados los polígonos de agricultura y manchas urbanas como base para la elaboración del LULC de este trabajo. La cartografía y bases de datos de factores sociales (factores geopolíticos, administrativos, poblacionales, económicos, etc.) resultó útil y adecuada.
- El estudio de ecosistemas a escalas medias, como en este caso, se facilita y eficiente con la utilización de imágenes satelitales y otros recursos que actualmente se obtienen de forma gratuita a través de Internet.
- En el caso de las imágenes empleadas, el sensor **MODIS** fue óptimo debido a la facilidad de obtención de material ya procesado para análisis LULC en formato GEOTIFF de un tamaño pequeño (lo cual eficiente los procesos digitales), el registro de la dinámica de la cobertura del suelo natural y antropogénico, por la generación de dos escenas diarias de la misma zona, así como la disponibilidad de casi diez años de material (contando hasta 2011) y la cobertura completa de la cuenca en dos escenas.
- La combinación de bandas 7-2-1 permite una importante discriminación entre distintos niveles de agua, suelo desnudo y urbano, identificación y evolución de zonas quemadas, fenología de cultivos, y estado fenológico de la vegetación. Otros elementos como nieve o hielo sobre el terreno y las nubes son identificados, pero ninguno de estos fue utilizado en este trabajo. Las desventajas son: la dificultad para encontrar imágenes sin nubes en esta latitud, por lo que no se obtuvo ninguna de los meses de verano, cuando la temperatura ambiente se eleva al grado de producir una gran cantidad de nubes por un periodo de cuatro meses seguidos; algunas se encuentran, pero el archivo final presenta efecto "pixelado"; en el proceso de clasificación supervisada, suele confundir la cobertura de agua con sitios humedecidos, con sombras del terreno o de nubes; no presentan corrección atmosférica, por lo que las imágenes con arrastre eólico o con humo los colores se distorsionan. No obstante, todo esto pudo ser

compensado con la clasificación experta multitemporal para la composición del mapa de LULC.

- El método diseñado en el presente trabajo para generar el mapa de LULC, a partir de la clasificación supervisada de 16 imágenes **MODIS** 7-2-1 con áreas de entrenamiento dinámicas, arrojó resultados con un significativo nivel de precisión, como se demostró en su evaluación de confiabilidad. Las principales desventajas de dicho método es que requiere generar una importante cantidad de información de base, un alto conocimiento del terreno y sus factores biofísicos, y un uso intermedio/avanzado de las herramientas de análisis digital de imagen de satélite y análisis espacial en **SIG**; esto sin contar las dificultades para reunir la información requerida, los altos consumos de memoria de proceso y de los tiempos necesarios para llevar a cabo esta labor. El tiempo del proceso del mapa LULC desde que se inició la clasificación de las imágenes hasta que se completó el *grid* integrado, fue de aproximadamente nueve meses de trabajo.
- El grupo de herramientas InVest 1.005beta para obtener los modelos biofísicos de los SSAA (cedido por Natural Capital) es una forma muy eficiente de mapear los SSAA, basándose en el mapa de LULC. Su aplicación resultó sencilla y práctica, obteniéndose resultados sensiblemente coherentes. La primera desventaja de la herramienta es que, a pesar de aplicarse en los modelos el Nivel 1, grandes cantidades de información fueron requeridas para la cuenca, debido precisamente a su alta biodiversidad; esto porque gran parte de los atributos de evaluación de cada LULC para cada modelo debieron ser buscados en la literatura, y en algunos casos procesados para su ingreso a dichos modelos. La segunda desventaja es también el alto consumo de recursos y de tiempo de la memoria de proceso en los cuatro modelos generados con esta herramienta (por ejemplo, casi dos horas en cada ensayo del modelo de producción y purificación de agua). El lapso de elaboración y evaluación socioeconómica de todos los modelos fue de aproximadamente quince meses, considerando el tiempo de recopilación de los insumos del modelo, e incluyendo aquellos que no fueron procesados a través del InVest 1.005beta.
- La evaluación socioeconómica es una herramienta ampliamente aceptada en la actualidad como base para tomar decisiones en la administración pública. En México, se comenzó a aplicar a los proyectos públicos, que consumen un alto nivel de recursos financieros, pero que no se obtiene ni una recuperación ni una ganancia económica, sino un beneficio social. Esta fue base que generó la idea de aplicar una evaluación socioeconómica a los SSAA de la cuenca Guayalejo-Tamesí, a finales a principios de siglo; ya que a esas fechas, en México el método de ordenamiento sólo señalaba la identificación de cuatro de ellos. La idea cobró fuerza a partir de la publicación del documento de la **EEM**, por lo que se decidió aplicar las metodologías sugeridas y adaptarlas a la cuenca, siempre de acuerdo con la disponibilidad de información para realizar las evaluaciones específicas a cada modelo de SSAA generado.

VI.3. De la evaluación socioeconómica

- Aún con las diversas limitaciones de cada evaluación particular, el poner en perspectiva monetaria el valor de los ecosistemas para cada persona, como función de los SSAA que pone a su servicio, es la forma más práctica y universal de que el común de la gente valore adecuadamente los recursos naturales con los que cuenta. Es más difícil que un ciudadano común quiera desmontar una hectárea de terreno si eso le va a costar más caro que dejarla como está, y además por un tiempo más largo.
- El ciudadano común debe entender que **la naturaleza no tiene un precio, pero los SSAA tienen un valor monetario**, que es lo mínimo que pierden por parte de ella, al destruirse el ecosistema en cuestión. De la misma forma que nadie está dispuesto a dejar de percibir un beneficio que le da el gobierno (por ejemplo, el acceso a la educación básica), tampoco debería estar dispuesto a perder los SSAA aportados por la naturaleza. Ambos son servicios públicos a los que tiene derecho, de ambos tiene acceso libre y gratuito, pero también ambos le implican un costo de mantenimiento y gastos asociados en caso de que no le sean suministrados por parte del servidor (ya sea el ecosistema o el gobierno).
- El problema de los SSAA es que su “infraestructura” de producción (el ecosistema) muchas veces se encuentra en predios de propiedad privada, por lo que se encuentran a merced del propietario. Por ello, más que una compensación social y temporal por conservarlos, deben existir acuerdos permanentes productor/usuario, basados en una fuerte sensibilización y educación en la importancia para ambos de conservar el ecosistema para el bien social.

V.4 De los SSAA en específico

Calidad del hábitat para la biodiversidad

- La calidad de los hábitats del área de estudio se relaciona directamente con dos factores de evaluación: su aislamiento de las actividades y su relación con los sistemas montañosos, debido a las dificultades del uso del terreno en esos sitios. En general, su calidad disminuye sólo cuando existen incendios, o algunos tipos de plagas, aunque esto último es menos común y requiere de estudios más especializados.
- Los sitios mejor valuados alcanzan 64.9€/ha anuales, lo cual debe interpretarse como la inversión teórica que el gobierno (la sociedad) debería emplear por hectárea para que la población siga contando con los servicios otorgados por la biodiversidad en la cuenca.
- El 17.4% de la superficie de la cuenca acumula el 32.2% del valor socioeconómico, con terrenos ocupados por selvas, bosques y matorrales primarios, valorados en más de un millón de euros anuales. Son los ecosistemas mejor conservados de la cuenca, protegidos en parte por el ANP El Cielo.

- Por estos altos valores, se hace evidente la carencia de protección legal en las zonas montañosas de Jaumave-Miquihuana, las sierras del sur de la cuenca (con especial atención en la poco estudiada Sierra del Abra-Tanchipa), así como las mesetas centrales en los municipios de Llera y Xicoténcatl.
- La exposición a diferentes factores de degradación disminuye sensiblemente el valor relativo del **AICA** del Tamesí, así como el monumento natural del Cerro del Bernal. Por lo tanto, en estos casos el valor socioeconómico deberá analizarse desde otros puntos de vista y a una escala más detallada

Captura y almacén de carbono

- El módulo de almacén de carbono del InVest 1.005 beta es una herramienta efectiva para el análisis de este SSAA. No obstante, se requiere un mapa de otro periodo, equivalente al generado para esta investigación, para estimar con esta herramienta las tasas de captura.
- Los ecosistemas que constituyen los depósitos a largo plazo en el área de estudio evitan que se libere carbono a la atmósfera con un valor que en conjunto casi doce veces el presupuesto total asignado a todos sus ayuntamientos en 2011. Por su parte, el valor por la captura fue subestimado, al calcularse con el mismo valor del almacén; sin embargo, es posible que supere 1.6 veces el valor por hectárea del cultivo de caña de azúcar.
- El almacenaje de carbono tendría posibilidades de ser más competitivo que algunos de los cultivos más rentables en la cuenca por unidad de superficie. El terreno presenta mayor rendimiento por el carbono almacenado que por la venta de los productos obtenidos de su cultivo, con excepción de la caña en AGR.
- No obstante, las pérdidas económicas por los incendios superan el valor del almacén de carbono en algunos LULC, a pesar que sólo considera el costo del combate y el monto del recurso perdido, sin considerar los SSAA ni costos a comunidades ni a la producción agropecuaria afectadas.
- Aunque los valores recopilados en el trabajo pueden servir como base para los próximos inventarios de **GEI** en el estado, es muy importante estudiar el comportamiento de los almacenes y sumideros de carbono en cada uno de los ecosistemas, de acuerdo con las recomendaciones del **IPCC**.
- El conocimiento de la distribución espacial de los SSAA de captura y almacén de carbono pone a disposición de los tomadores de decisiones una perspectiva más adecuada que la usada actualmente para dirigir las estrategias de conservación y manejo de los bosques en la Cuenca, particularmente las enfocadas a los pagos por este servicio.

Aporte de agua para consumo doméstico

- En el área de estudio, las zonas de mayor aportación de agua para consumo doméstico se distribuyen en la porción centro-sur, mientras que el Altiplano y las altas montañas de la cuenca cuentan con los menores rangos de este SSAA. Aunque son necesarios estudios más detallados de la región, los resultados indican que la remoción de la capa vegetal en estos ecosistemas, especialmente el de BMM, puede causar un efecto negativo importante sobre el recurso agua en la región.
- Los sitios con aportaciones medias (400 a 750 mm/año) prácticamente sostienen la mitad de la producción de este SSAA en la cuenca. Por lo tanto; por ello, la remoción de la capa vegetal en estos ecosistemas puede causar un efecto negativo importante sobre el recurso agua en la región. Aunque en este rango domina la vegetación de bosques y selvas (húmedos y subhúmedos), es necesario hacer notar que algunas zonas del Valle de Jaumave presentan similar producción, pero con vegetación semidesértica. Esto es importante, ya que los esquemas de **PSA** hidrológicos sólo apoyan sitios tropicales, por lo que se sugiere, por una parte, particularizar estudios a las zonas semidesérticas, y por la otra, la revisión de los criterios para **PSA**.
- Dentro de este contexto, el presente modelo es un importante indicador de las zonas donde es más importante el SSAA de aporte de agua, y que no necesariamente son las de mayor cuantía, ni las de mayor cobertura boscosa, ni las ubicadas en las partes más altas de la cuenca. Para afinar este modelo, en un futuro será necesario ingresar las variables temporales y temáticas no contempladas por el mismo.
- A pesar de que el valor que los ecosistemas aportan a cada habitante de la cuenca por concepto de aporte de agua para su consumo doméstico es de más de mil euros al año, esto no se refleja en los precios pagados por dicho consumo. Esto porque la **WTP** por concepto de obtener el recurso donde es inaccesible, resulta 31 veces mayor que las facturas de consumo por vivienda. De acuerdo con esto, se vislumbra la necesidad apremiante de que los ecosistemas sean contabilizados como parte de la infraestructura del suministro de agua, por su valor socioeconómico como productores del recurso.
- Por su parte, los **PSA** federales subestiman en 1.6 veces el valor del ecosistema, en este caso sólo por su aportación al consumo doméstico. Si la federación y la sociedad en su conjunto continúan subvalorando sus recursos hídricos, de acuerdo con los resultados obtenidos, se tendrá un costo mínimo promedio de 121 anuales (de 2011) por cada hectárea de ecosistema que pierda su capacidad de producción.
- Aunque otros estudios señalan que sólo la actividad agropecuaria presenta problemas de escasez, es necesario el mantenimiento del nivel actual de conservación de los ecosistemas de mayor aportación, de forma que se siga contando con una disponibilidad adecuada para otras actividades. Por ello, es

necesario seguir las recomendaciones de los especialistas en cuanto a una reestructuración de los actuales sistemas de gestión para el uso óptimo, reciclaje y tratamiento del recurso hídrico en la cuenca. Además, es imprescindible y urgente el reajuste de las estrategias de **PSA** de acuerdo con los estudios a detalle de productividad de agua; así como la implementación de las políticas generales de **OET**.

Purificación de agua por retención de nutrientes

- Este SSAA se distribuye fuertemente hacia los sitios de mayor flujo entre las zonas agropecuarias y urbanas de la cuenca. Estas aportan grandes cantidades de nutrientes, por la aplicación a gran escala de fertilizantes y otras sustancias utilizadas en el mantenimiento del cultivo (nitrógeno) y de las descargas urbanas (fósforo). Por lo tanto, las coberturas vegetales que mayor proporción de contaminante retienen en la cuenca también son –en general- las que más lo emiten y generalmente se encuentran alrededor de los asentamientos humanos y zonas industriales (que sólo son emisores)
- Debido a la escasa cobertura de tratamiento de aguas residuales, lo más probable es que en la realidad, en algunos sitios se esté excediendo la carga permitida por las normas oficiales mexicanas, especialmente en los puntos de descarga de aguas residuales de las urbes principales, así como en las zonas agropecuarias e industriales cuya ubicación el modelo delinea con los valores más altos del SSAA.
- El rango de valoración obtenido es muy amplio, porque el modelo acumula valores a través del flujo de la carga de nutrientes: de cero (en los primeros píxeles flujo arriba) a 231,320 € (un solo píxel en el sitio donde más acumula). Sin embargo, debe señalarse que los valores más altos, se deben a que la remoción artificial de los nutrientes analizados se produce a través de tratamientos tipo “terciarios”, que requieren de tecnología que resulta muy cara. Los sitios con más de mil € anuales por hectárea aportan casi 26% del total, pero ocupan una superficie de apenas el 0.13% de la cuenca, mientras que el 46.9% de la superficie otorga el 17% del valor total, con píxeles que van de uno a cincuenta euros anuales.
- En comparativa, el “gasto” de los ecosistemas para proveer de agua limpia a sus habitantes es casi 200 veces menor (comparando al valor de González) que el que emplea el gobierno usando plantas de tratamiento, las que procesan sólo el 3.5% del agua residual. Por hectárea, el ecosistema “invierte” 625 veces menos (comparando al valor de Ciudad Madero) que el gobierno en este servicio.
- Es importante recalcar esta comparativa se realizó sobre las capacidades del ecosistema *versus* las de plantas de tratamiento. El valor del servicio de purificación no se calcula a partir de lo que procesa, sino a partir de la “capacidad instalada” natural o artificial. Por supuesto que algunas veces y en algunos sitios la capacidad de purificación es rebasada por el influjo de agua, aunque es más probable que la mayor parte de las ocasiones no se ocupe el total

de la capacidad de remoción. Independientemente de si se usa o no, el valor del servicio sólo cambia cuando se afecta la *infraestructura* de limpieza, que en los ecosistemas equivaldría a remover la cobertura vegetal.

- Por lo tanto, debe tenerse en cuenta que la [EEM \(2005b\)](#) advierte que no es posible aplicar las estrategias para los recursos hídricos a menos que se consideren algunos factores de cambio, entre los que incluyen la disminución de la carga de nutrientes y promover la participación ciudadana para una adecuada toma de decisiones.

Belleza escénica y paisajística

- La población de la cuenca tiene predilección por parajes naturales, con vistas panorámicas, limpios y con elementos de agua y vegetación vigorosa; además, deben ser accesibles por carretera pavimentada o terracería a menos de dos horas de camino. Las principales sensaciones que les causa un sitio así son de tranquilidad y paz, pues les parece inspirador, bello y armónico, que les provoca un estado de bienestar emocional. Cuando estos sitios alcanzan una calidad paisajística relativa mayor al 30%, son valorados como sitios ecoturísticos, con suficiente carisma para pagar por su conservación. Si todos los pobladores de la cuenca realizaran ese pago, sería de 0.14 € mensuales, lo que significa \$2.4 pesos mexicanos por persona al mes (menos de la cuarta parte de lo que cuesta “en la máquina” un refresco enlatado).
- Por el contrario, la población rechaza los sitios “sucios”, “contaminados”, con escasa o nula vegetación. Incluso, algunos encuestados y entrevistados mencionan la inseguridad como un aspecto degradante de los lugares a visitar.
- Una valoración paisajística basada exclusivamente en los atributos biofísicos de los sitios, daría un resultado inverso a la basada en atributos biofísicos y de infraestructura, que son la base de la valuación socioeconómica aquí presentada
- El modelo sugiere que la principal vocación ecoturística de la cuenca posee características de “balneario”; en segundo lugar, son valorados sitios con vistas panorámicas, como los senderos de El Cielo y zonas montañosas de Ocampo, Tula, Jaumave y Casas. En tercer lugar, se valoran sitios tipo “parque suburbano”, particularmente en las periferias de Ciudad Mante y de la zona conurbada de Tampico, Madero y Altamira; estos son lugares que probablemente habrían alcanzado valores más bajos si se hubieran incluido factores de degradación; pero en general, la cercanía a la ciudad (que es un factor considerado como degradante), les permite una mayor accesibilidad que les coloca como los de más afluencia de paseantes locales.
- El placer que causa la sola presencia de los ecosistemas existentes en el área de estudio les otorga un valor mínimo diez veces mayor que el precio comercial de un terreno en la cuenca. Si de alguna forma el ecosistema pierde sus características paisajísticas, el valor comercial del terreno puede caer en

promedio un 35%, pero en algunos lugares dentro del municipio de Gómez Farías, este puede perder más de 80%.

- La vocación ecoturística proporciona a los habitantes de la cuenca la oportunidad de emplearse o auto-emplearse en actividades relacionadas, lo que evita gastos a la sociedad por un valor 2.33 veces superior a las remesas que se recibe de parte de las personas que migraron a **EEUU**, y que no aprovechan la oportunidad de emplearse en esta actividad en la cuenca. Este es el costo mínimo de oportunidad para las familias cuando uno de sus miembros emigra hacia **EEUU**, en lugar de dedicarse a actividades relacionadas con la naturaleza en cualquier lugar de la cuenca; es decir, si estas personas apreciaran y usaran responsablemente sus recursos dentro del concepto de servicios y productos para el ecoturismo, tendrían beneficios globales dos veces superiores de lo que les aporta emigrar.
- Aunque otros empleos informales podrían reportarles 38% más que este SSAA en forma *per cápita*, en algunos sitios las actividades relacionadas al ecoturismo son la única forma de obtención de ingresos para los pobladores locales.
- Excepto para Tampico y Cd. Madero, la cuantía por remesas es significativamente inferior al valor que el SSAA representa para el empleo por ecoturismo. Es el costo social mínimo que les reporta la emigración como alternativa a que sus habitantes tengan un empleo que les arraigue a sus lugares de origen. Si se obtiene la relación entre ambas fuentes de recursos, resulta que, en los municipios donde es más rentable el empleo por ecoturismo, existe un rango que va de 1.6 (en Altamira) a 54.13 veces (en Tula) la rentabilidad de éste sobre las remesas.
- Aún con el alto costo de oportunidad que representa para las familias la emigración respecto al empleo en ecoturismo, actualmente no se considera una buena opción local de desarrollo. Esto se debe, por una parte, a factores internos de los pobladores (falta de conocimientos de la actividad y de valoración de los sitios), y por la otra a factores externos (escaso interés del gobierno y otros actores sociales, los fluctuantes niveles de inseguridad). Además, los requerimientos del ecoturismo internacional son costosos y difícilmente pueden ser absorbidos para obtener ingresos por parte de las comunidades rurales.
- Cada hectárea que se haya deteriorado en el 2011 de un sitio de calidad paisajística en la cuenca, estaría perdiendo al menos casi 2,910 euros por los conceptos sociales de trabajo rural, voluntad a pagar por mantener conservado el sitio y el valor hedónico del terreno; además de 470 euros (de 2011, que aumentarán según la inflación) por cada año que tarde en regresar a la calidad original de 2011.
- Los terrenos con las más altas aportaciones por hectárea (mayores a cinco mil euros) conforman apenas el 2.52% de la superficie, aportando en conjunto un 7% del valor total del SSAA. Estas zonas representan los sitios con la mayor oportunidad de destacar en la producción de servicios ecoturísticos, siempre que se mantengan las características biofísicas y se mejore su infraestructura dentro

de un marco sustentable, conservando el equilibrio que permite que este SSAA sea producido en el nivel más alto.

- La aportación anual de valor por este SSAA es un indicador de las áreas de oportunidad para el desarrollo sustentable de la actividad ecoturística. En esos sitios es donde mejor pueden aplicarse estrategias tarifarias y donde se presentan las condiciones más propicias para que los habitantes locales tengan un empleo ligado a esa actividad. Por ello es muy recomendable analizar el desempeño de este SSAA en el total de sus territorios.
- Los resultados obtenidos en este análisis son una medida del valor que la sociedad otorga a sus ecosistemas como producto de la estética de sus paisajes, y no un análisis de su belleza intrínseca. Por esta razón, algunos paisajes de gran belleza obtuvieron valores bajos en este SSAA, pues se encuentran en sitios de difícil acceso, como el simbólico Cerro del Bernal y las zonas de alta montaña.

Disponibilidad de plantas medicinales y valor de cuasi-opción

- Las **PMed** más requeridas se utilizan principalmente para tratar problemas estomacales, dolores musculares, padecimientos de la piel y tos. Se encuentran en mayor número en la SBC, con 135 especies que originan 320 **TPMd** para 17 **E/P** incluidas en esta investigación. Como casi en la mitad del área de estudio se desarrollan actividades humanas, su cobertura vegetal se relaciona con las zonas agropecuarias y predios urbanos. Por su cercanía a los asentamientos humanos, son las más utilizadas respecto a plantas restringidas a vegetación prístina.
- Los escasos registros en los bosques húmedos y templados se deben a que en zonas serranas los pobladores no conocen la mayoría de las especies nativas debido a que, en su mayoría, no son originarios del lugar. Otro aspecto relacionado a la escasez de registros y de conocimiento de esta tradición, es su tendencia a desaparecer del sur de Tamaulipas. Esto se debe al despoblamiento de las zonas rurales, a la accesibilidad a sistemas de salud pública y a que se ha roto la cadena de transmisión verbal de padres a hijos. En las regiones más urbanizadas, además, existe el factor de la expansión agropecuaria y urbana, que perturban principalmente a las especies nativas, lo que también afecta las prácticas tradicionales de uso y cultivo que se asocian con el manejo de los recursos naturales a nivel local.
- La población en general suele subestimar el valor de las **PMed** disponibles en sus ecosistemas, debido a su acceso a la medicina occidental. Sin embargo, en los mercados locales se mantiene la venta de especies de distintos orígenes, a través de comercios llamados “hierberías”. Es también en los centros urbanos donde aún existen “curanderos” tradicionales, muchas veces ligados a prácticas espirituales como la “santería”; factor que probablemente influyó en el menor uso y conocimiento de las **PMed**, porque es una práctica no aceptada por el catolicismo, religión mayoritaria en el país y la cuenca.

- Se considera que los resultados del modelo de disponibilidad de **PMed** subestiman el valor socioeconómico de las especies con uso medicinal de la cuenca. Las razones de esto son, en primera instancia, que sólo se utilizó un inventario disponible, con más de 20 años de antigüedad; en segundo lugar, porque sólo se trabajó con el valor de enfermedades y padecimientos más comunes y en su forma menos grave, dejando fuera tratamientos más caros, como los usados contra el cáncer, la infertilidad o antiabortivos; en tercero, porque las estimaciones se realizaron considerando que sólo un 20% de la población afectada por una **E/P** utiliza una **PMed** en lugar de un medicamento recetado por un médico de la seguridad social.
- Al considerar la calidad del hábitat en la valuación socioeconómica por **TPMd**, las selvas bajas con disturbio obtuvieron los mayores niveles de ahorro a la sociedad por evitar el uso de medicamentos cuando se tratan con una **PMed**. Esto se debió a su mayor oferta de **TPMd**, a que su aportación disminuye al mínimo cuando se ponderan con la calidad de hábitat, su mayor presencia de especies naturalizadas, así como su mayor accesibilidad para los habitantes de la cuenca.
- Para la iniciativa privada, la abundancia de especies que puedan producir un mismo fármaco reporta bajos ingresos (por la ley de oferta/demanda) y es de bajo valor de bioprospección, pues tiene altos niveles de sustitución de una especie por otra, como en el caso de varios **TPMd** para la misma E/P en un LULC. Lo más posible es que esto baje el valor de algún fármaco que pueda producirse a partir de esas especies, pero la sociedad de la cuenca gana, pues lo que se valoró en este análisis es la disponibilidad de **TPMd** que evita al gobierno el gasto en dichos tratamientos, sin incluir otros como los costos de traslado, mayor número de consultas, días de trabajo perdidos, etc.
- El valor de los ecosistemas por las posibilidades de contener un fármaco comercialmente exitoso, depende de su biodiversidad y su nivel de calidad de hábitat. Por este motivo, y contrario a otros SSAA, los ecosistemas semidesérticos alcanzan una alta valoración; las selvas medianas ocuparon el primer lugar en este SSAA, debido a que se encuentran menos antropizadas que los semidesérticos.
- Aunque se recomienda evitar el uso de los valores de cuasi-opción para conservar ecosistemas, por su bajo atractivo para invertir, pueden ser uno de los argumentos básicos para los que son valiosos por su biodiversidad, pero que aportan bajos niveles de otros SSAA, como el caso de los matorrales semidesérticos.
- La biodiversidad y los conocimientos tradicionales pertenecen a todos y a nadie al mismo tiempo, por lo que están expuestos a que algún particular pueda hacer uso abusivo de los mismos. Por ello, es necesaria su valuación socioeconómica, de forma que la sociedad poseedora de los recursos cognitivos y biofísicos pueda obtener beneficios cuando existan ganancias generadas por dichos recursos. Aunque este valor se expresa en términos monetarios, de ninguna forma es un

precio, pues este implica una compra/venta, y como la biodiversidad y el conocimiento tradicional no se venden, entonces no tienen precio, pero sí tienen un alto valor que ningún particular podría pagar: es un valor social (socioeconómico).

- El sólo hecho poner en perspectiva el valor de la biodiversidad y el conocimiento de las **PMed** en la cuenca, no es suficiente para evitar la presión sobre los mismos, ni su extracción ilegal. No es suficiente que los tomadores de decisiones conozcan estos valores para que puedan o quieran actuar. Hace falta que el conocimiento del valor socioeconómico se disperse por la misma sociedad, especialmente la que más en contacto se encuentra y más depende de estos recursos para su sobrevivencia: los habitantes con menor capacidad económica, que generalmente viven en las zonas rurales de la cuenca. En el transcurso de esta investigación, que se ha llevado toda una vida por la convivencia diaria y entrevistas personales con habitantes de la cuenca, estos hechos y necesidades han quedado más que claros.